www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

8e JAARGANG No. 1, blz. 1-32 JANUARI 1946

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

TER INTRODUCTIE

In het eerste nummer van het Philips Technisch Tijdschrift, dat na de bevrijding verschijnt, mag een inleidend woord van de zijde van de Redactie niet achterwege blijven.

Zoo lang ons mogelijk was, hebben wij in de bezettingstijd getracht de uitgave van het tijdschrift voort te zetten, maar in den zomer van 1942 werd de verdere verschijning door den bezetter verboden. Als gevolg hiervan bestaat de 7e jaargang (1942) van het Philips Technisch Tijdschrift slechts uit zes nummers.

Nu de uitgave van het tijdschrift weer hervat wordt, gaan onze gedachten terug naar de donkere jaren, die voorbij gingen, en gedenken wij met weemoed al die leden der Philips gemeenschap, die als slachtoffers van oorlogsgeweld, van onrecht en wreedheid hun leven hebben gelaten, onder wie helaas ook een der geregelde medewerkers aan dit tijdschrift, Ingenieur G. Heller.

Nu, in Januari 1946, beginnen wij met de 8e jaargang, op dezelfde voet en met dezelfde doelstelling als te voren. Voor nieuwe lezers, die het Philips Technisch Tijdschrift niet gekend hebben in de eerste periode van verschijnen, moge vermeld, dat dit tijdschrift de bedoeling heeft informatie te verstrekken over de eigenschappen en toepassingen van de verschillende producten der Philips fabrieken en inzicht te verschaffen in de kwesties, die daarmede verband houden. Het richt zich in het bijzonder tot de ingenieurswereld en tot andere technisch geïnteresseerde gebruikers van onze producten. Het is niet bedoeld als een populair tijdschrift; waar noodig wordt van de wiskunde een passend gebruik gemaakt, doch steeds staat de duidelijke voorstellingswijze voorop.

Hoewel in dit tijdschrift telkens de resultaten van wetenschappelijk onderzoek ter sprake komen, is het toch niet als een publicatie-orgaan van wetenschappelijke verhandelingen te beschouwen. Voor hen, die nader geïnteresseerd zijn in het researchwerk, dat in de Philips Laboratoria wordt verricht, moge hier verwezen worden naar een nieuw tijdschrift, de „Philips Research Reports", waarvan in October 1945 het eerste nummer is verschenen; dit tijdschrift wordt alleen in de Engelsche taal uitgegeven.

Wij hopen, dat het Philips Technisch Tijdschrift, na zijn herrijzing, in een ruime lezerskring met dezelfde belangstelling zal worden ontvangen als in de voorafgaande jaren.

DE REDACTIE.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

POEDERGLAS

door E. G. DORGELO.

666.189.4

Bij het vervaardigen van werkstukken, waarbij vele metalen deelen (bijv. doorvoerpennen) dicht opeengedrongen in glas moeten worden ingesmolten, is het soms door de te geringe vloeibaarheid van het gesmolten glas onmogelijk, de glasdruppel tusschen de metaaldeelen te persen. In dat geval kan men gebruik maken van glas in poedervorm, dat vóór het smelten tusschen de metaaldeelen wordt gestort. Het niet meer volkomen heldere glas, dat dan na het smelten ontstaat, het zg. poederglas, bevat vele zeer kleine luchtblaasjes. In dit artikel worden verschillende eigenschappen en mogelijkheden van het poederglas besproken.

Bij de fabricage van gloeilampen, electronen- en gasontladingsbuizen worden verscheidene speciale glassoorten gebruikt, die voor elk type buis of lamp aan bepaalde eischen moeten voldoen en daardoor onderling veel kunnen verschillen. Een glassoort, waarvan de eigenschappen en constructieve mogelijkheden voor het eene type bijzonder gunstig zijn, kan voor een ander type volkomen ongeschikt zijn.

Voor de ontwikkeling van een nieuwe lamp of buis dient men dus de mogelijkheden, die de verschillende glassoorten bieden, aan een uitgebreid onderzoek te onderwerpen. Zijn de bestaande glassoorten voor de beoogde toepassing ongeschikt, dan tracht men een nieuwe en betere glassoort te vinden. Bij verscheidene buistypen hing de voortgang der ontwikkeling vrijwel uitsluitend af van het vervaardigen van een doelmatige nieuwe glassoort.

Een voorbeeld vormt de natriumlamp, van binnen bedekt met boraatglas [1]), dat bestand is tegen natriumdamp; verder de hoogedruk- en superhoogedruk-kwiklampen, waarbij het noodig was glassoorten te vinden voor de bekleeding van de metalen doorleidingen in het kwarts [2]). Ook bij de ontwikkeling van zendbuizen voor zeer korte golven is met goed gevolg gebruik gemaakt van speciale nieuwe glassoorten, de electrolysevrije glazen [3]).

Terwijl in de hier genoemde voorbeelden de nieuwe glazen zich van de oude onderscheiden door hun chemische samenstelling, is bij het poederglas getracht, nieuwe mogelijkheden te scheppen door wijziging van de physische structuur. De aanleiding hiertoe was een moeilijkheid, die optreedt bij het vervaardigen van werkstukken, waarbij vele metalen deelen (bijv. doorleidingen) dicht opeengedrongen in glas moeten worden gesmolten. Het vloeibare glas moet dan tusschen de metalen onderdeelen worden geperst en deze methode faalt, indien de tusschenruimten zoo nauw zijn, dat een druppel vloeibaar glas zelfs onder hooge uitwendige druk er niet voldoende in kan doordringen, misschien doordat dan de afkoeling als gevolg van de afvoer van warmte door de metalen deelen te snel plaats vindt. Deze moeilijkheid kan worden overwonnen, indien men vóór het smelten het glas in de vorm van een fijn poeder direct brengt op de plaats, waar het hoort, en dan het geheel verhit tot een zoo hooge temperatuur, dat het glas smelt. Van het eenigszins troebele zoogenaamde poederglas, dat na het smelten van dit poeder ontstaat, is de structuur niet homogeen; het bevat talrijke zeer kleine gas- of luchtblaasjes, die verschillende eigenschappen van het glas min of meer wijzigen. Daardoor kunnen soms constructies, die met normaal glas juist niet meer mogelijk zijn, uitvoerbaar worden. Voorbeelden van dergelijke gevallen, waarbij men bij voorkeur poederglas gebruikt, worden later in dit artikel gegeven.

Groote voordeelen biedt poederglas bij het vervaardigen van buizen en lampen voor experimenteele doeleinden, door de snelle en weinig gecompliceerde manier, waarop vrijwel elke gewenschte buisvoet kan worden gemaakt. Metalen doorvoeren kunnen tegelijk met het maken van de voet worden ingesmolten, terwijl het procédé bruikbaar is voor iedere glassoort, inclusief de zeer moeilijk week te maken soorten.

Het verwerken van poederglas

De grondstof, het glaspoeder, wordt verkregen door het malen van stukken glas. Dit poeder wordt gestort in een vorm, waarin reeds de in te smelten metalen deelen van het werkstuk zijn aangebracht. Men moet ervoor zorgen, dat het glaspoeder goed de ruimten tusschen die metalen deelen opvult. Na afdekking van de vorm wordt het geheel verhit tot een temperatuur, waarbij het glas dun vloeibaar wordt, zoodat een slechts geringe druk voldoende is, om zelfs de kleinste holten geheel te vullen.

[1]) Philips techn. T. **2**, 87, 1937.
[2]) Philips techn. T. **3**, 120, 1938.
[3]) Philips techn. T. **6**, 257, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De uitzettingscoëfficient van het materiaal van de vorm moet op een bepaalde wijze zijn aangepast bij die van het glas. De rand van de vorm mag niet om het gestolde glazen voorwerp vastklemmen; de uitzettingscoëfficient van het materiaal van de wand moet dus kleiner zijn dan die van het glas. De bodem van de vorm (die los van de rand is) moet daarentegen bij voorkeur dezelfde uitzettingscoëfficient als het glas bezitten, daar men anders gevaar loopt, dat bij de afkoeling eventueele doorvoerpennen en dergelijke, die in de bodem van de vorm zijn vastgezet, worden verbogen. Een vorm, die de besproken eigenschappen bezit, is voorgesteld in *fig. 1*.

Fig. 1. Vorm van metaal met losse bodem en deksel.

Behalve doorvoerpennen kunnen ook anders gevormde voorwerpen worden ingesmolten, bijv. metalen strippen, buizen, moeren, enz. (*fig. 2*). Het aantal pennen, hun afstanden en groepeering zijn bij toepassing van poederglas aan vrijwel geen beperkingen onderworpen. *Fig. 3* toont aan, dat een groote verscheidenheid mogelijk is.

Verder kan er nog op worden gewezen, dat tegelijkertijd met het insmelten van doorvoerpennen in een lamp- of buisvoet de glazen ballon kan worden aangelascht. Deze ballon wordt dan vóór het smelten van de poederglazen voet geplaatst in de vorm, waarvan het bovendeel moet worden verwijderd. Op deze wijze vervalt het aanlasschen als afzonderlijke bewerking. Natuurlijk kan dit procédé alleen worden toegepast in die gevallen, waar de electroden, die zich binnen in de ballon bevinden,

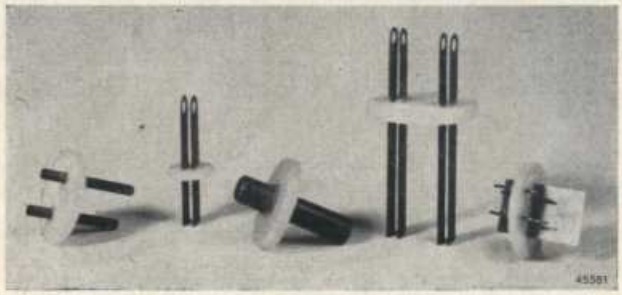


Fig. 2. Ingesmolten metalen buisjes en strippen in poederglazen voeten van buizen.

bestand zijn tegen de warmtestraling van de gloeiende vorm. De in *fig. 4* gefotografeerde ballon en brugjes zijn op deze wijze vervaardigd.

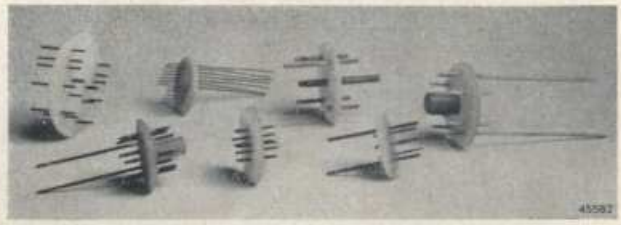
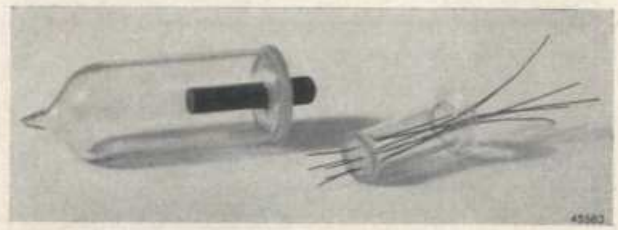


Fig. 3. In vrijwel ieder aantal en elke rangschikking kunnen de doorleidingen in de poederglazen bodems worden ingesmolten.

Het spreekt vanzelf, dat ook andere glazen onderdeelen, zooals bijv. een pompstengel, gelijktijdig met het smelten van de buis- of lampvoet kunnen worden ingelascht (*fig. 5*). Om te voorkomen, dat de pompstengel bij het smelten dichtvalt, wordt hij vooraf aan de onderzijde dichtgesmolten en gevuld met fijn zand, dat na het smelten weer wordt uitgeschud.

Een speciale manier van insmelten, die mogelijk is bij metalen ballons, bestaat hierin, de rand van de ballon sterk te verhitten en dan in het



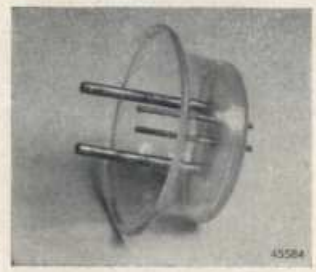


Fig. 4. Ballon en brugjes, waarvan de poederglazen voeten tegelijk met het smelten van het glaspoeder aan de ballons zijn gelascht.

oppervlak van de van te voren eveneens verwarmde poederglazen bodem te drukken [4]). De uitpuilende rand kan later worden verwijderd. Op deze wijze is het bijv. mogelijk, schijfjes van loodglas in een bus van ijzer te bevestigen. Doordat de uitzettingscoëfficient van het ijzer grooter is dan die van het glas, klemt bij de afkoeling het ijzer om het glas, waardoor een zeer betrouwbare verbinding wordt verkregen. Ook is het bij deze methode van geen belang, of de ballondoorsnede zuiver rond is.

[4]) In principe is deze wijze van insmelten ook mogelijk met plaatjes van helder glas.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Eigenschappen van poederglas

1) *Soortelijk gewicht*

De omstandigheid, dat zich in poederglas een zeer groot aantal kleine gasbellen bevinden, heeft invloed op verschillende eigenschappen; het is duidelijk, dat bijv. het soortelijk gewicht kleiner is dan van het oorspronkelijke glas. De vermindering hangt af van de grootte en het aantal der blaasjes en is meestal van de orde van grootte van 5 tot 10%; bij zeer fijn poeder is de vermindering sterker. De diameter van de bellen ligt meestal tusschen 10 en 50 μ. Het aantal blaasjes per mm^3 bedraagt enkele duizendtallen.

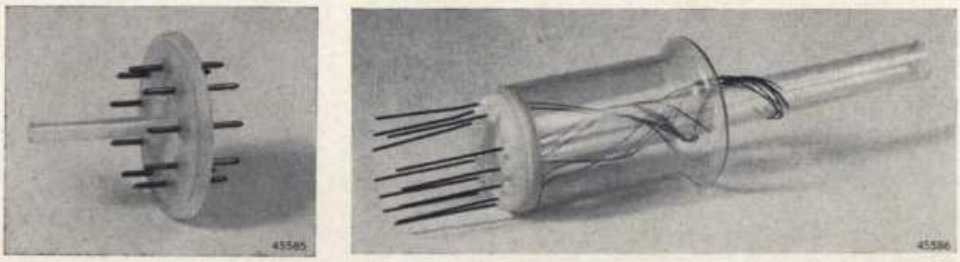


Fig. 5. Pompstengels kunnen gelijktijdig met het smelten van de lamp- of buisvoet worden ingelascht.

2) *Electrische eigenschappen*

Bevindt zich een blokje poederglas in een electrisch veld, dan zal de veldsterkte in het glas veel kleiner zijn dan in de gas- of luchtbellen, als gevolg van het feit, dat de diëlectriciteitsconstanten zeer veel verschillen (glas: 5 tot 16, lucht: 1). Het veld concentreert zich dus in de bellen.

Beschouwen we een stuk helder glas met slechts enkele groote luchtbellen, dan kan hierin de veldconcentratie zoo hoog worden, dat het ingesloten gas wordt geïoniseerd, wat aanleiding kan geven tot volkomen doorslag. Aan glas voor hoogspanningsapparaten (röntgenbuizen bijv.) moet dan ook de eisch worden gesteld, dat het in hooge mate vrij van bellen is.

Geheel anders wordt de toestand, indien de lucht in het glas in zeer vele kleine blaasjes is verdeeld. Het potentiaalverschil tusschen de grensvlakken wordt dan gelijkmatig over de tallooze tusschenliggende gasbellen verdeeld, zoodat het per gasbel optredende potentiaalverschil zoo laag is, dat het gevaar voor ionisatie is uitgesloten. Men vindt dan ook bij poederglas waarden voor de doorslagspanning, die even hoog liggen als de waarden, die men meet bij glas, dat vrij van bellen is.

Het electrische veld in een medium, waarin zich bolvormige gasbellen bevinden, kan worden berekend [5]). Verschillende electrische grootheden van het poederglas, zooals het electrische geleidingsvermogen λ', de diëlectriciteitsconstante ε' en de verlieshoek, bepaald door tg δ', kunnen uit de overeenkomstige waarden voor het homogene glas (λ, ε en tg δ) worden berekend. Zoo vinden we, als

$$p = \frac{\text{de inhoud van alle luchtbellen}}{\text{totaal volume}}:$$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{2-2p}{2+p} \approx 1 - \frac{3}{2}p + \ldots \quad (1)$$

$$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{2\varepsilon + 1 - 2p(\varepsilon - 1)}{2\varepsilon + 1 + p(\varepsilon - 1)},$$

hetgeen met $\varepsilon = 7$ levert:

$$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{5-4p}{5+2p} \approx 1 - \frac{6}{5}p + \ldots \quad (2)$$

$$\frac{\text{tg } \delta'}{\text{tg } \delta} = \frac{2\ (5-3p)}{10-3p} \approx 1 - \frac{3}{10}p + \ldots \quad (3)$$

De formules gelden alleen, als $p \ll 1$ is. Om een indruk te geven van de invloed, die de luchtbellen op de genoemde grootheden hebben, substitueeren we eens $p = 0{,}1$. Dan is $\lambda'/\lambda = 0{,}85$, $\varepsilon'/\varepsilon = 0{,}88$ en tg δ'/tg $\delta = 0{,}98$.

Een verdere verlaging van de waarden van ε' en λ' kan men dus verkrijgen door veel lucht over vele kleine blaasjes te verdeelen. Daartoe moet worden uitgegaan van zeer fijn glaspoeder en bij het smelten moet de temperatuur, om ontwijken of samenvloeien van de luchtbellen te voorkomen, zeer snel worden opgevoerd. Door toevoeging van gasafscheidende stoffen kan het percentage sterk worden verhoogd, hetgeen echter een verlaging van de stevigheid van het poederglas meebrengt.

[5]) K. W. Wagner, Archiv für Elektrotechnik 2, 382, 1914.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

3) *Thermische eigenschappen*

De warmtegeleiding in poederglas hangt op dezelfde manier van p af als het electrische geleidingsvermogen (zie formule 1). Van poederglas is dus de warmtegeleiding iets geringer dan bij helder glas van dezelfde samenstelling. Bij het smelten moeten soms daarom bijzondere maatregelen worden getroffen.

De uitzettingscoëfficient van poederglas is gelijk aan die van normaal glas; de uitzettingscoëfficient verandert niet door de aanwezigheid van luchtbellen, hetgeen een gevolg is van het bekende feit, dat een hol lichaam uitzet alsof het massief was.

4) *Spanningen*

Voorwerpen, opgebouwd uit meer dan één materiaal met verschillende uitzettingscoëfficienten, zijn in het algemeen niet bij iedere temperatuur vrij van mechanische spanningen. Dit geldt ook voor lasschen van twee glassoorten aan elkaar, of voor een metalen doorleiding door glas. Het optreden van spanningen in een glazen voorwerp leidt dikwijls tot stukspringen en daarom zijn methoden ontwikkeld voor de contrôle daarvan. De spanningen maken het glas optisch anisotroop en geven aanleiding tot verschijnselen van dubbele breking, die met een polarisatieapparaat zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Bij dit spanningsonderzoek is nu ten voordeele van poederglas gebleken, dat in voorwerpen, die met behulp van dit glas zijn vervaardigd, minder mechanische spanningen optreden dan bij gewoon helder glas. Dit kan worden gedemonstreerd door schijfjes van verschillende glassoorten paarsgewijs aaneen te smelten. Bestaan de aaneengesmolten schijfjes uit poederglas dan treden na afkoeling kleinere spanningen op, dan indien de twee schijfjes uit de overeenkomstige heldere glassoorten zijn samengesteld.

De verklaring van dit verschijnsel is waarschijnlijk de volgende. Bij het vastworden van glas verstijven enkele deelen iets sneller dan de andere. Daar de stolling gepaard gaat met een volumevermindering, zullen er in het glas spanningen optreden, die kleiner zijn, naarmate het nog weeke glas beter kan meegeven. Dit kan nu in poederglas beter gebeuren dan in helder glas van dezelfde samenstelling. Bevinden zich nl. in het glas een groot aantal gasbellen, dan kunnen deze, zoolang het omringende glas nog eenigszins week is, door uit te zetten de volumevermindering van het stollende glas compenseeren. Deze wijze van voorstellen gaat er dus van uit, dat sommige deelen van het werkstuk eerder vast worden dan de rest. Dit verschijnsel speelt vaak een rol, indien metalen deelen worden ingesmolten.

Volledig homogene werkstukken kan men ook bij gebruik van normale heldere glassoorten spanningsvrij maken, door de afkoeling zeer langzaam te doen plaats vinden. Eén van de voordeelen van poederglas is, dat de afkoeling zonder nadeel vlugger kan geschieden.

Toepassingen

Het poederglas heeft vooral toepassing gevonden voor lampen en buizen voor experimenteele doeleinden. Het biedt echter ook voor andere toepassingen een aantal voordeelen, die van belang kunnen zijn. We zullen er hier enkele noemen:

1) *In buizen met gecompliceerde electrodensystemen*

Zooals reeds is gezegd, kan het glas als fijn verdeeld poeder in de vorm worden aangebracht, zoodat

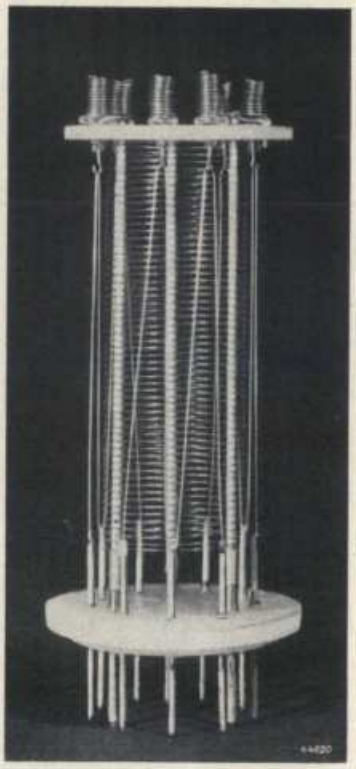


Fig. 6. Rechtstreeks op de poederglazen bodem gemonteerde electroden van een zendbuis voor korte golven.

het gemakkelijk alle hoekjes kan vullen. Gecompliceerde stukken, zooals buisvoeten met zeer veel, resp. dicht opéénstaande doorvoerpennen, kunnen zonder veel moeite van poederglas worden vervaardigd (zie fig. 3). De vrijheid, waarmede we de afstand der pennen kunnen kiezen, maakt het mogelijk, ze op een zoodanige plaats aan te brengen,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat de eenvoudigste en meest logische opbouw van het electrodensysteem wordt verkregen. Zoo ziet men in *fig. 6* het rooster-kathode gedeelte van een kortegolf-zendbuis, waarbij de beide electroden rechtstreeks op de pennen zijn gelascht. Deze pennen vormen twee concentrische cirkels, met diameters, overeenkomende met die van de kathode en het rooster. Een dergelijke opbouw munt uit door eenvoud en stevigheid, terwijl de geringe zelfinductie van de doorvoerorganen een goede werking op korte golven mogelijk maakt. In extreme gevallen kan, om de zelfinductie zoo laag mogelijk te houden, een electrode zelf door het glas worden heengevoerd. Een drietal voorbeelden hiervan ziet men in *fig. 7* (zie ook fig. 2).

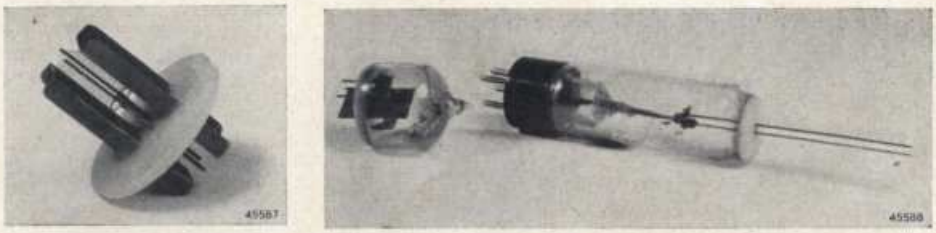


Fig. 7. Eenige zendbuizen voor zeer korte golven, waarbij de electroden zelf in de voet of kop zijn ingesmolten.

In het linkerbuisje bevinden zich twee U-vormige gebogen electroden, die met behoud van hun doorsnede door de glazen bodem heen loopen. De zelfinductie van het doorvoergedeelte is hier al zeer klein. Tevens wordt een goede koeling verkregen. Bij het middelste buisje is een afschermplaat, die de beide deelen van de buis scheidt, in zijn geheel doorgevoerd.

De rechterbuis van fig. 7 bevat twee stripvormige doorvoeren, die samen een Lecher-systeem vormen. De practijk heeft uitgewezen, dat dergelijke constructies met helder glas en de normale perstechniek moeilijk betrouwbaar zijn te maken. Het is lastig, een behoorlijke verdeeling van de glasdruppels te verkrijgen. Ook treden aan de randen van het metaal vaak te groote spanningen op, zoodat daar de buis springt.

2) *Gedrongen constructies*

Deze hebben in bedrijf vaak hooge temperaturen van de glaswand tengevolge. Het is dan noodig, dat men zijn toevlucht neemt tot glazen met een hoog verweekingspunt. Normale boro-silicaatglazen met verweekingspunten van 500-600° C zijn vaak nog te week, of isoleeren bij de hooge bedrijfstemperaturen te weinig, waardoor nog hardere glazen moeten worden genomen. Deze glazen zijn als regel op de normale wijze niet meer in nauwe tusschenruimten te persen. Voordat de persdruk tot stand is gekomen, is de glasdruppel reeds te veel afgekoeld. Het direct inpersen van metalen deelen is nog moeilijker. Doordat bij de poederglastechniek niet geperst wordt, behoeven er geen hooge eischen aan de vorm te worden gesteld en kan deze zoo hoog worden verhit, dat zelfs een zeer hard glas nog voldoende dun vloeibaar wordt. Het is daardoor mogelijk geworden glassoorten, zooals de zg. electrolysevrije, tot buisvoeten te verwerken, waar dit vroeger niet mogelijk was en dit heeft weer de mogelijkheid geopend nieuwe buistypen te construeeren, vooral op het gebied van de zendbuizen voor decimetergolven.

3) *Glasovergangen*

Het is mogelijk de vorm met laagjes glaspoeder van verschillende eigenschappen te vullen en daarna het geheel te smelten. Door glaspoeders te nemen, waarvan de uitzettingscoëfficient geleidelijk opklimt, kunnen overgangen worden gemaakt, dwz. buisvormige deelen, die aan één zijde aan een glas met hooge, aan de andere zijde aan een glas met lage uitzettingscoëfficient kunnen worden gesmolten.

Een andere mogelijkheid, die wordt geboden, is, dat men de voet van een buis, waarin zich damp van een alkali-metaal bevindt, kan beschermen door een dun laagje bestendig glas er op aan te brengen. Zooals bekend is, worden de meeste glazen zeer sterk door dergelijke dampen aangetast. Bij loodhoudende glazen bijv. vindt een zoodanig sterke reductie plaats, dat het glas tengevolge van het afgescheiden lood zwart wordt. Door nu eerst poeder van loodglas in de vorm te strooien en daar overheen een dun laagje van boraatglas, verkrijgt men na de smelting een beschermende laag. Boraatglas wordt nl. niet aangetast, is echter alleen niet te verwerken, daar het temperatuurinterval, waarin de verweeking plaats heeft, bijzonder kort is. Een variant op het voorafgaande is het gebruik van glazen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van verschillende kleur, waardoor allerlei aanduidingen op het voorwerp kunnen worden aangebracht.

4) *Snelle insmelting en koeling*

Hoewel de warmtegeleiding in poederglas geringer is dan in het overeenkomstige heldere glas, blijkt bij verhitting toch, dat men bij poederglas zonder veel voorzorgen een gelijkmatiger verwarming door het geheele voorwerp heen verkrijgt. Waarschijnlijk zorgen de zeer vele in het poederglas aanwezige gasbellen ervoor, dat bij verhitting de warmtestraling sterk wordt verstrooid. Een gevolg hiervan is, dat het zg. vóórwarmen, dat aan het vastsmelten van een buisvoet aan de ballon voorafgaat, tamelijk snel kan gebeuren, zonder dat de buis springt. Het is duidelijk, dat dit voor massafabricage van groot belang is. Ook het nawarmen (het zg. koelen) kan in de meeste gevallen vrij snel verloopen, in verband met de reeds eerder genoemde groote elasticiteit van het nog niet geheel gestolde poederglas, waardoor het optreden van groote spanningen wordt tegengegaan.

---

50 JAAR RÖNTGENSTRALEN

In November 1895 deed Wilhelm Conrad Röntgen aan de Universiteit te Würzburg zijn eerste waarnemingen over röntgenstralen; 27 December 1895 is de publicatie gedateerd, die zijn groote ontdekking aan de wereld bekend maakte. Over de geheele wereld wordt thans, 50 jaar daarna, deze belangrijke bijdrage tot ons tegenwoordige wetenschappelijke wereldbeeld — en tot ons technisch instrumentarium! — herdacht.

Een blik op de in deze 50 jaar afgelegde weg is alleszins de moeite waard. Men vindt er de wisselwerking in weerspiegeld, die plaats greep tusschen de verschillende zich ontplooiende takken van wetenschap en techniek, en men kan er in volgen, hoe een overstelpende hoeveelheid ontwikkelingswerk het aanzijn heeft gegeven aan een reeks zeer belangrijke practische toepassingen van de röntgenstralen — te algemeen bekend om ze hier te behoeven op te sommen — en aan hiervoor bestemde uiterst geperfectionneerde apparaturen. Ook de Philips laboratoria en fabrieken hebben hun aandeel in deze ontwikkeling gehad. Hiervan zouden wij op deze plaats slechts de 38 publicaties willen laten getuigen, die in de eerste zeven jaargangen van dit tijdschrift over onderwerpen uit het röntgengebied zijn verschenen: 9 van deze artikelen handelden over röntgenbuizen en -apparaten, 21 over toepassingen, 8 over de bij de toepassingen gevolgde methoden. Ook in dit nummer, waarmede het Philips Technisch Tijdschrift na de onvrijwillige onderbreking in de oorlogsjaren weer zijn intrede in de wereld doet, vindt de lezer een beschrijving van een röntgentoestel, dat in velerlei opzicht representatief is voor de in onze laboratoria bij het ontwikkelingswerk op röntgengebied gevolgde ideeën en methoden.

Wij stellen ons voor, in de jaargang 1946 van dit tijdschrift onze röntgenafdeeling nog vaker aan het woord te laten dan wij in vroeger jaren deden, voor het bespreken van haar bijdragen in de uitwerking van speciale buizen, toestellen en onderzoek-methoden. Dit zal onze wijze zijn om de groote ontdekking van Röntgen van 50 jaar geleden te herdenken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN RÖNTGENAPPARAAT VOOR CONTACTTHERAPIE

door H. A. G. HAZEU, J. M. LEDEBOER en J. H. van der TUUK. 261.386.1: 615.849

Bij de röntgenbehandeling van gezwellen aan het huidoppervlak is het ter bescherming van het onderliggende gezonde weefsel gewenscht, dat de stralingsintensiteit met toenemende diepte onder de huid snel afneemt. Hiervoor is noodig, dat de afstand tusschen röntgenstralenbron en huid niet te groot is (veelal heeft men dan direct contact tusschen röntgenbuis en huid, vandaar de benaming „contacttherapie") en dat de röntgenbuis slechts een gering „eigen filter" bezit. Om aan deze en andere, uit de medische practijk naar voren komende, eischen te voldoen, is de buis van het Philips contacttherapie-apparaat zóó geconstrueerd, dat de kathode wordt geaard en de röntgenstraling door een opening hierin naar buiten treedt. Deze constructie wordt in dit artikel nader beschreven; zij veroorlooft bestraling op 18 mm afstand van het focus, met een filter gelijkwaardig aan slechts 0,2 mm aluminium. De buis wordt gevoed met 50 kV gelijkspanning bij een stroom van 2 mA en wordt door lucht sterk gekoeld. De röntgenintensiteit op de huid is zoo groot, dat een bestralingstijd van enkele minuten meestal voldoende is. Hierdoor wordt deze therapie voor een veel grootere kring van patienten toegankelijk gemaakt, dan met radiumbestraling mogelijk is.

Dieptetherapie en oppervlaktetherapie

De behandeling van gezwellen (tumoren) met radium- of röntgenstralen berust op het feit, dat het zieke weefsel door deze stralen wordt aangetast en bij toediening van een voldoende dosis tot afsterven kan worden gebracht. Ook het gezonde weefsel rondom het gezwel wordt echter min of meer door de röntgenstralen getroffen en er door aangetast. Is deze aantasting te groot, dan kan de genezing van het zieke weefsel hierdoor worden vertraagd of zelfs verhinderd. Het streven van den arts moet er dus op zijn gericht de verhouding van de stralendosis op het gezonde weefsel tot die op het zieke weefsel voldoende klein te maken. De hiervoor te nemen maatregelen zijn geheel verschillend naar gelang het zieke weefsel diep onder het huidoppervlak is gelegen dan wel zich weinig onder of aan het oppervlak van de huid bevindt.

Beschouwen we eerst het eerste geval, de „dieptetherapie". Daar de intensiteit der röntgenstralen met het kwadraat van de afstand van de stralenbron afneemt en bovendien de stralen in het weefsel een verzwakking ondergaan, zal de intensiteit in de diepte kleiner zijn dan die aan de huid: de dosis heeft een zeker diepteverval, zie *fig. 1a*. Bij de dieptetherapie krijgt dus het zieke weefsel altijd een geringere dosis dan het gezonde weefsel aan het huidoppervlak. Dat desondanks een genezend effect kan worden verkregen, is te danken aan het feit, dat soms het zieke weefsel door eenzelfde dosis in sterkere mate wordt aangetast dan het gezonde. In fig. 1*a* is aangegeven, hoe de vereischte dosis voor het „dooden" van het zieke weefsel en de toelaatbare dosis voor het sparen van het gezonde weefsel kunnen liggen. Men ziet, dat bij deze situatie een therapie mogelijk is, maar alleen, indien de straling geen te groot diepteverval heeft. Bij de dieptetherapie is dus een zoo klein mogelijk diepteverval van de straling gewenscht.

Heel anders ligt het geval bij de behandeling van gezwellen aan de oppervlakte van de huid, de zg. „oppervlaktetherapie". Hier bevindt zich het gezonde weefsel, dat bij het bestralen mede wordt getroffen, grootendeels onder het zieke weefsel, de rollen zijn dus verwisseld. Van nature is dit geval gunstiger voor de stralentherapie, daar hier het zieke weefsel altijd een grootere dosis krijgt dan het gezonde. Geven we weer de vereischte minimale dosis op het zieke en de toelaatbare maxi-

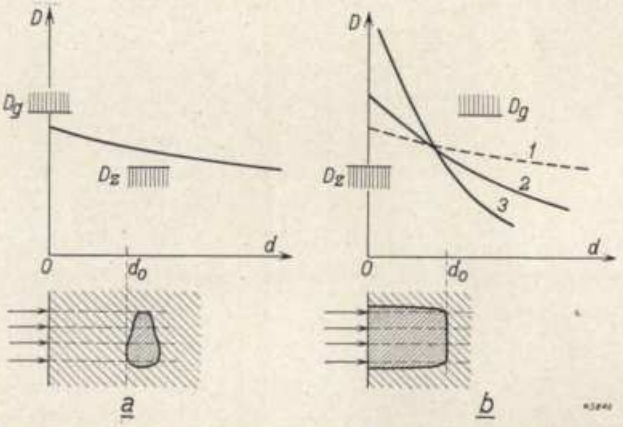


Fig. 1*a*) Bij de dieptetherapie mag de toegediende dosis röntgenstralen aan het huidoppervlak, waar zich gezond weefsel bevindt, een waarde D_g niet overschrijden, terwijl zij op een diepte d_0 onder de huid, waar het zieke weefsel ligt, minstens een waarde D_z moet bereiken. Een zoo gering mogelijk diepteverval van de röntgenintensiteit is vereischt.

b) Bij oppervlaktetherapie is aan het huidoppervlak de minimale waarde D_z, op een diepte d_0 de maximale waarde D_g voorgeschreven. Hier is een steil diepteverval gunstig, bijv. volgens kromme *2* of *3*, die veel steiler verloopen dan de gestippelde kromme *1*, die het verloop van fig. 1*a* weergeeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

male dosis op het gezonde weefsel aan (fig. 1*b*), dan ziet men, dat nu in principe met elk diepteverval van de dosis kan worden gewerkt. Om echter het gezonde weefsel zoo goed mogelijk te sparen, zal klaarblijkelijk een vrij steil diepteverval de voorkeur verdienen, terwijl men dan ook de mogelijkheid heeft om een grootere dosis aan het zieke weefsel toe te dienen.

Hoe kan nu het gewenschte kleine resp. groote diepteverval worden verkregen? Het verval wordt gekenmerkt, door de stralingsintensiteit I_h aan het huidoppervlak te vergelijken met de intensiteit I_d op een diepte d onder de huid. Is a de afstand van de röntgenstralenbron (focus van de buis) tot de huid en μ de verzwakkingscoëfficient van het weefsel voor de stralen, dan geldt voor de primaire stralen wegens de kwadratische afstandswet:

$$\frac{I_d}{I_h} = \frac{a^2}{(a+d)^2} e^{-\mu d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Dit „dieptequotient", dat een maat is voor het diepteverval, wordt groot (dwz. nadert de waarde 1), indien a groot is ten opzichte van d en indien μ klein is. Bij de dieptetherapie zal men dus de röntgenbuis op vrij groote afstand van den patient opstellen (30 tot 100 cm) en men zal een harde straling (kleine golflengte) toepassen, die in het weefsel weinig wordt verzwakt. Dit beteekent hooge buisspanningen — practisch meestal 200 kV, soms tot 1000 kV — en het toepassen van een zwaar metaalfilter om de zachte gedeelten van het uit het focus tredende stralenmengsel te onderdrukken. Om ondanks de groote afstand en het stralingsverlies in het zware filter de in het gezwel gewenschte dosis met een niet al te lange bestralingstijd te verkrijgen, heeft men hierbij een groot buisvermogen noodig (1-4 kW).[1])

Bij de oppervlaktetherapie, waar het streven op een klein dieptequotient I_d/I_h gericht moet zijn, zal men juist de tegenovergestelde maatregelen nemen: men zal hier de afstand a tusschen focus en huid klein trachten te maken en men zal een sterk aan verzwakking in het weefsel onderhevige, dus weeke straling (lage buisspanning, bijv. 50 kV) toepassen, zonder sterker te filteren dan onvermijdelijk is tengevolge van het uittreden der straling door de buiswand (zg. eigen filter van de buis ter plaatse van het buisvenster).

[1]) Zie: Philips techn. T. **4**, 161, 1939. — Hierbij dient nog te worden opgemerkt, dat tot nog toe niet is komen vast te staan, dat de genezende werking op gezwellen voor röntgenstralen van verschillende golflengten, overeenkomende met buisspanningen tusschen 50 en 1000 kV, principieel verschillend zou zijn. De keuze van de golflengte kan dus, afgezien van technische overwegingen, in de eerste plaats door het gewenschte diepteverval worden bepaald.

Afgezien van de principieel gunstiger situatie bij de oppervlaktetherapie heeft men hier ten opzichte van de dieptetherapie nog het bijkomstige voordeel, dat voor de vereischte dosis, dank zij de kleine afstand focus-object en het zwakke filteren, slechts een gering buisvermogen noodig is. De röntgenbuis kan daardoor klein zijn en gemakkelijk in te stellen, het geheele apparaat kan, ook wegens de betrekkelijk lage buisspanning, licht, zelfs rijdbaar worden gemaakt, terwijl men toch met zeer korte bestralingstijden kan volstaan.

Deze gunstige aspecten der oppervlaktetherapie of „contacttherapie", zooals zij ook wel wordt genoemd, daar de röntgenbuis hierbij veelal in directe aanraking met de huid van den patient wordt gebracht, hebben er veel toe bijgedragen, de behandeling van huidaandoeningen en oppervlakkige gezwellen met röntgenstralen ingang te doen vinden. Bij de hieronder volgende beschrijving van het Philips apparaat, dat speciaal voor deze therapie is ontwikkeld, zullen wij nog nader op eenige bijzonderheden hiervan ingaan.

Constructie van de röntgenbuis

Uit het bovenstaande volgt, dat een röntgenbuis voor contacttherapie aan de volgende eischen moet voldoen:

1) De afstand van het focus tot het buisvenster moet zeer klein zijn, teneinde het focus dicht bij de huid te kunnen brengen.
2) Het eigen filter van de buis moet klein zijn, hetgeen beteekent, dat het buisvenster, waar de stralen uittreden, zeer dun en uit een licht (weinig absorbeerend) materiaal moet zijn vervaardigd.

Hierbij komen nog eenige practische eischen, die voortvloeien uit de wensch, om de contacttherapie ook te kunnen toepassen op gezwellen en aandoeningen van het slijmvlies in lichaamsholten, zooals mond, keel, enz. Voor dit doel is het noodig dat het focus zich dicht bij een uiteinde van de buis bevindt en dat dit uiteinde smal genoeg is om in dergelijke lichaamsholten te kunnen worden gebracht. Tevens is hiervoor meestal een voorwaartsch (niet zooals gewoonlijk zijdelingsch) uittreden der stralen gewenscht.

De eisch van een dunne buis met focus aan het uiteinde doet zich ook voor bij het toepassen van röntgenstralen in het materiaalonderzoek, bij het doorstralen van buisvormige gietstukken en dergelijke. Hiervoor zijn röntgenbuizen geconstrueerd met een holle, als een tuit buiten de buis uitstekende, geaarde anode [2]), zie *fig. 2*. Deze constructie heeft voor ons doel echter het nadeel, dat aan

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de tweede bovengenoemde eisch — klein eigen filter — niet goed kan worden voldaan. De in de lengterichting van de buis uittredende stralen moeten door de anodeplaat, waarop zich het focus

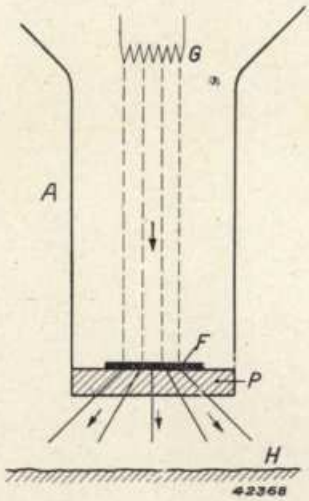


Fig. 2. Constructie van een röntgenbuis met geaarde anodetuit. De van de gloeidraad *G* uitgaande electronen vliegen door de geaarde holle anode *A* en treffen de koperen plaat *P*. De bovenste laag hiervan, de pastille, waarop het focus *F* ontstaat, bestaat uit wolfraam. De röntgenstralen, die van *F* uitgaan, moeten om het te bestralen huidoppervlak *H* te bereiken de anodeplaat *P* passeeren.

(de pastille) bevindt, heen dringen. Terwille van een hoog rendement moet de pastille bestaan uit een zwaar metaal (wolfraam); dit heeft echter tevens een sterke absorptie, vooral voor de zachte stralen. Bovendien kan de anodeplaat ook niet heel dun zijn, daar zij bestand moet zijn tegen de sterke warmtetoevoer door de electronenstraal en ook vacuumdicht moet wezen. Zoo krijgt men een zwaar eigen filter en daarmee een veel hardere en minder intensieve straling dan men wel zou willen.

Weliswaar kan men beide nadeelen ten deele compenseeren, doordat men de afstand tusschen focus en huid bij deze constructie zeer klein kan maken. Bij voldoend kleine afstand (enkele mm) kan men gerust ook met harde en zwakke straling werken — zooals trouwens bij radiumbestraling het geval is —, daar dan door het overheerschen van de factor $a^2/(a+d)^2$ in verg. (1) toch een zeer groot diepteverval wordt verkregen. Het werken met zulke kleine afstanden heeft echter weer andere bezwaren. Ten eerste hebben dan zeer kleine variaties van de afstand dadelijk een groote invloed op de intensiteit op de huid, zoodat de doseering wordt bemoeilijkt. Vooral is men echter bij zulke kleine afstanden genoodzaakt om met zeer groote openingshoeken van de bundel röntgenstralen te werken. De randstralen van de bundel doorsnijden dan, zooals men in fig. 2 ziet, de anodeplaat in schuine richting, worden dus sterker verzwakt dan de stralen in de as, en treffen bovendien de huid op grootere afstand. Het gevolg is een sterk ongelijkmatige verdeeling der intensiteit op het bestraalde veld — een verschijnsel, dat door den medicus zeer bezwaarlijk wordt gevonden. Deze eischt integendeel terwille van een gemakkelijke en betrouwbare doseering een zoo gelijkmatig mogelijke verdeeling.

In ons laboratorium is nu een geheel afwijkende constructie uitgewerkt, waarbij het eigen filter van de buis zeer sterk kon worden beperkt [3]). Hierbij is de kathode geaard en de door de anode uitgezonden röntgenstralen treden door een opening in de kathode naar buiten.

In *fig. 3*, waarin het uiteinde van de buis in doorsnede schetsmatig is weergegeven, is deze constructie te zien. De gloeidraad is, met één pool verbonden en met de andere pool geïsoleerd doorgevoerd, in de geaarde metalen kathodekan bevestigd. Door de ring *D* worden de electronen, die de gloeidraad uitzendt, gefocusseerd op de anode van massief wolfraam, welke een positieve spanning van

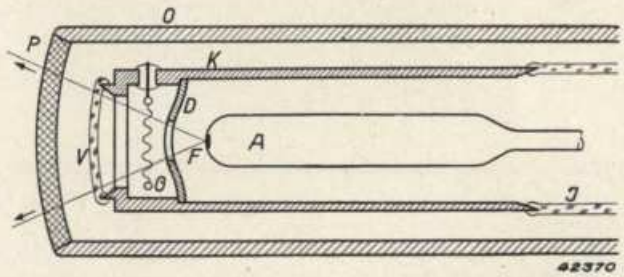


Fig. 3. Constructie van de röntgenbuis van het Philips apparaat voor contacttherapie. *K* geaarde kathodekan, *G* gespiraliseerde ringvormige gloeidraad, *D* focusseerende ring, *A* anode, *F* focus, *V* venster, *I* isoleerende verbinding tusschen kathodekan en anodehouder, *O* omhulsel, *P* „Philite" kapje.

50 kV ten opzichte van de kathode krijgt. De op de anode opgewekte röntgenstralen treden door een achter de gespiraliseerde, ringvormige gloeidraad gelegen, aan de kathodekan gesmolten glazen venster uit de buis. Van belang is hierbij, dat ter plaatse van het geheele venster vrijwel kathode-

[2]) Vgl.: Philips techn. T. **5**, 77, 1940 (fig. 6). — Voor een contacttherapiebuis van dit soort zie: H. W. Ernst, K. Frik und P. Ott, Strahlentherapie **52**, 389, 1935.

[3]) Vgl.: J. H. van der Tuuk en G. J. van der Plaats, Ned. T. Geneesk. **79**, 4025, 1935 en J. H. van der Tuuk, Ned. T. Natuurk. **3**, 129, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

potentiaal heerscht. Er bestaat daardoor geen gevaar, dat secundaire electronen, die op de anode vrij worden gemaakt, het venster zouden bombardeeren. Het venster kan derhalve dun en groot zijn.

Rondom de buis is een geaard metalen omhulsel aangebracht, dat op de plaats, waar de stralen uittreden, met een dun kapje van „Philite" is afgesloten ter mechanische bescherming van het dunne buisvenster. Dit kapje kan direct tegen het te bestralen huidoppervlak worden aangelegd. De minimum afstand tusschen focus en huid bedraagt op deze wijze slechts 18 mm, terwijl de röntgenstralen geen ander filter dan het glazen venster en het „Philite" kapje behoeven te passeeren; de gezamenlijke filterwerking hiervan is equivalent aan 0,2 mm aluminium. Ter vergelijking zij vermeld, dat het eigen filter van andere buizen voor dezelfde spanning wel minstens 1 mm aluminium bedraagt.

In *fig. 4* is het verloop van de intensiteit als functie van de diepte onder de huid weergegeven, zooals dit bij bestraling met de beschreven buis werd gemeten [4]). Men ziet, dat bij toepassing van ongeveer de kleinst mogelijke afstand (kromme *1*, voor een afstand van 2 cm) een zeer groot diepteverval ontstaat: op een diepte van 1 cm onder de huid is de intensiteit reeds tot op 22 % van die aan het oppervlak gedaald.

Wij merken hier op, dat de voor de practijk geschiktste waarde van het diepteverval in medische

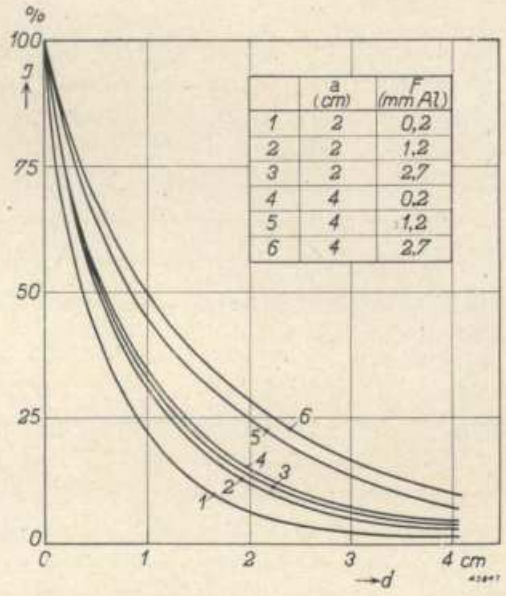


Fig. 4. Gemeten diepteverval bij de buis volgens fig. 3, bedreven met 50 kV. Intensiteit *I* als functie van de diepte *d*, voor verschillende afstanden focus-object (*a*) en filters (*F*).

[4]) Zie voor uitvoerige meetresultaten: G. J. van der Plaats, diss. Utrecht 1938. Vgl. ook L. F. Lamerton, Brit. J. Rad. **13**, 136, 1940.

kringen nog wel verschillend wordt beoordeeld [5]). Trouwens, zij zal ook min of meer afhangen van het individueele ziektegeval. In sommige gevallen zal men dus aan een minder steil verval de voorkeur geven. Dit kan men dan op eenvoudige wijze verkrijgen door de afstand van het focus tot de huid een weinig te vergrooten of een extra filter voor de stralen aan te brengen. De krommen *2* tot *6* in fig. 4 laten zien, welke verschillende vormen van het intensiteitsverloop onder de huid men op deze wijze kan verwezenlijken. Bij kromme *6* (4 cm afstand en filter van 2,7 mm aluminium) bedraagt de intensiteit op 1 cm diepte nog 49% van die aan het oppervlak.

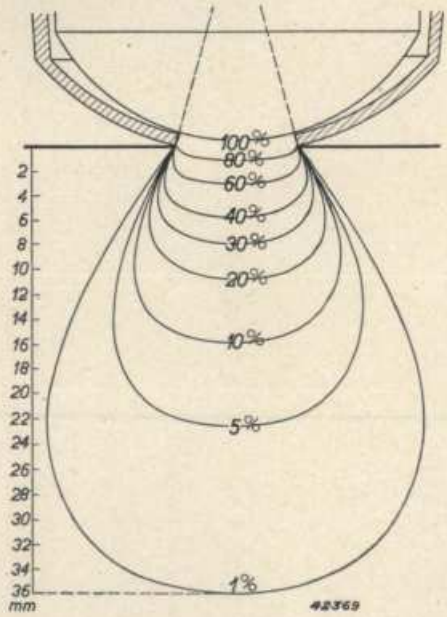


Fig. 5. Isodosenkrommen, verkregen bij bestraling met de buis volgens fig. 3. Het bestraalde veld op de huid is door een metalen conus met een opening begrensd tot 10 mm diameter.

De veldverdeeling is bij deze buis zeer homogeen. Dit blijkt uit *fig. 5*, waarin zg. isodosenkrommen zijn geteekend, dat zijn lijnen, die alle punten verbinden, welke eenzelfde dosis ontvangen. Het bestraalde veld is hierbij door een metalen dop begrensd tot een cirkel met 10 mm diameter. De dosis op het geheele bestraalde huidoppervlak is practisch overal gelijk. Tevens ziet men in de figuur weer de sterke afname van de dosis naar de diepte toe en de scherpe begrenzing naar de zijkanten. Deze begrenzing — eveneens een belangrijke wensch van den me-

[5]) Vgl. bijv.: W. Schäfer und E. Witte, Strahlentherapie **33**, 578, 1929. W. Chaoul und A. Adam, Strahlentherapie **48**, 31, 1933. G. J. van der Plaats, diss. Utrecht 1938; Brit. J. Rad. **12**, 353, 1939. D. den Hoed, Acta Rad **19**, 239, 1938. J. M. Woodburn-Morison, Medical World **12**, 231, 1938. P. A. Flood and D. W. Smithers, Brit. J. Rad. **12**, 462, 1939. Sven Hultberg, Acta Rad. **24**, 328, 1943.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dicus — wordt verkregen door een klein focus te gebruiken. Bij een groot focus zou nl. alleen het veld op het huidoppervlak scherp door de metalen dop zijn begrensd, de rand van de dop zou echter een halfschaduw werpen, waardoor op eenige diepte de zijdelingsche veldbegrenzing zou vervagen.

Het omhulsel van de buis

In *fig. 6* is een vereenvoudigde doorsnede van de volledige buis met omhulsel geteekend. De anode wordt aan een lange steel gedragen door een anodehouder, die door een glazen verbindingsstuk van de kathode is geïsoleerd. Tusschen de buis en het geaarde metalen omhulsel, dat arts en patient volledig tegen de hoogspanning beschermt, is een conische isoleerende bus bijv. van eboniet aangebracht. Dit maakte het mogelijk de maximale diameter van het geheel tot ongeveer 50 mm (in het midden) te beperken. De buitendiameter $2r_2$ van de bus bedraagt ter plaatse van de anodehouder 48 mm, de anodehouder zelf heeft een diameter $2r_1 = 22$ mm en staat op een spanning $V = 50$ kV. De grootste veldsterkte in het eboniet (nl. aan de binnenwand) is dan [6]):

$$E = \frac{V}{2{,}3\, r_1 \cdot \lg r_2/r_1} = 58 \text{ kV/cm}, \quad . \quad . \quad (2)$$

hetgeen nog ver beneden de maximaal toelaatbare veldsterkte in eboniet (150 kV/cm) ligt. Zonder isolatiemateriaal zou de diameter van het omhulsel, zooals men met formule (2) berekent, minstens $2r_2 = 112$ mm moeten bedragen, teneinde de veldsterkte op de anodehouder te beperken tot de maximaal voor lucht toelaatbare waarde van 28 kV/cm.

Tijdens het bedrijf wordt op de anode een vermogen van ongeveer 100 W gedissipeerd (buisspanning = 50 kV gelijkspanning, buisstroom = 2 mA). De heete anode geeft de ontwikkelde warmte door straling af aan de kathodekan. Zou deze kan de warmte ook weer door straling naar buiten kwijt moeten raken, dan zou zij, en daarmee het geheele uiteinde van de buis, veel te warm worden, zoodat het niet mogelijk zou zijn de buis onmiddellijk op het te bestralen huidoppervlak te zetten of in een lichaamsholte te brengen. Derhalve moest een intensieve koeling worden toegepast. Terwille van een eenvoudige constructie en een gemakkelijke beweegbaarheid van de buis werd een luchtkoeling gekozen. In de kast van de hoogspanningsgenerator is een ventilator opgesteld. Rondom de kabel, die de hoogspanning aan de buis toevoert, is een gummislang aangebracht, en de ventilator blaast nu lucht door de ruimte tusschen kabel en slang. Zooals men in fig. 6 ziet, stroomt de lucht tusschen de buis en de isoleerende bus door, langs de kathodekan en terug langs de buitenzijde van de isolatiebus om door gaten in de ring R naar buiten te stroomen. De patient ondervindt bij deze constructie geen last van de uittredende luchtstroom. De hoeveelheid doorgeblazen lucht bedraagt 2,4 liter per seconde. Daar de lucht een warmtecapaciteit van 0,285 cal per liter en per °C heeft en de per seconde doorstroomende lucht in continu bedrijf 100 Wsec = 24 cal opneemt, stijgt de luchttemperatuur 24/(2,4·0,285) = 35° boven kamertemperatuur. Het uiteinde van de buis wordt derhalve zelfs op den duur niet hinderlijk warm.

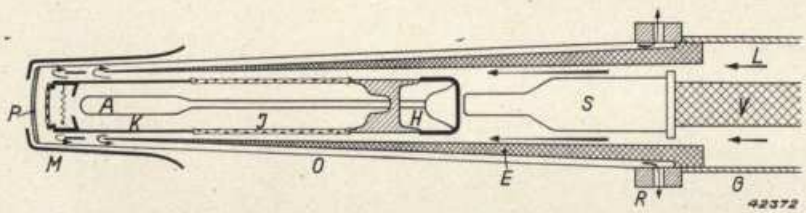


Fig. 6. Vereenvoudigde doorsnede van de röntgenbuis met omhulsel. In werkelijkheid is de buis nog veel dunner uitgevoerd. K kathodekan, A anode, H anodehouder, I glazen verbindingsstuk, O omhulsel met „Philite"-kapje P, E isoleerende bus, V hoogspanningskabel, S steker, G gummislang, L luchttoevoer, R ring met gaten voor uittredende luchtstroom, M metalen conus voor het juiste plaatsen van de buis op de huid.

De beschreven wijze van koelen maakt een luchtspleet noodig tusschen de anodehouder en de ebonieten bus. In deze luchtspleet ontstaat, doordat eboniet een diëlectriciteitsconstante 3 heeft, een driemaal zoo groote veldsterkte als in het aangrenzende eboniet [7]), dus een veldsterkte, die blijkens de boven genoemde getallen zeker vele malen grooter is dan de doorslagveldsterkte in lucht. Het moge merkwaardig lijken, dat men zich in dit geval dus niet stoort aan de gebruikelijke eisch, dat

[6]) Zie bijv.: Philips techn. T. **6**, 281, 1941. We onderstellen, dat we hier te maken hebben met het geval van twee concentrische cylinders met een homogeen diëlectricum.

[7]) Zie bijv. het in [6]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de doorslagveldsterkte nergens mag worden overschreden. Door de aanwezigheid van het eboniet kan echter geen volledige doorslag optreden; bovendien wordt de geïoniseerde lucht voortdurend door de koelende luchtstroom ververscht.

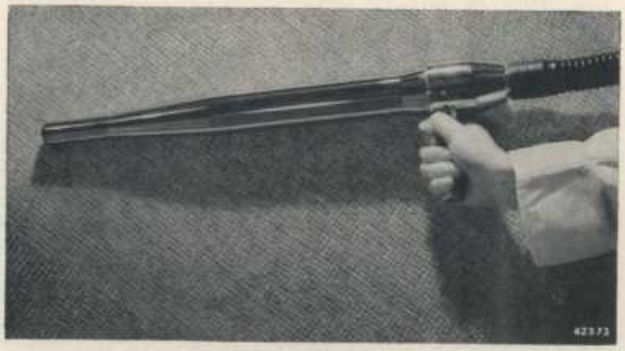


Fig. 7. De buis in het omhulsel. Het geheel is 50 cm lang en weegt 2,5 kg, het kan gemakkelijk met één hand aan de handgreep worden vastgehouden. Aan het dunne, steelvormige einde bedraagt de diameter slechts 28 mm, over een lengte van bijna 10 cm.

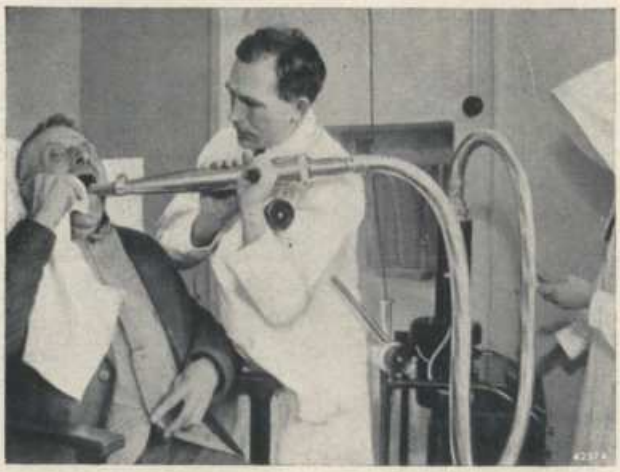


Fig. 8. Het apparaat voor contacttherapie tijdens een bestraling

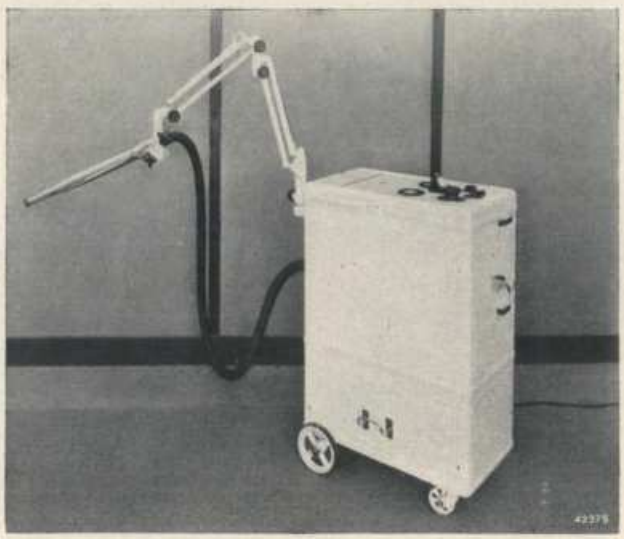


Fig. 9. De kast, die onderin de hoogspanningsgenerator en bovenin alle regelorganen bevat, draagt een alzijdig te bewegen arm, waaraan de röntgenbuis kan worden bevestigd.

Fig. 7 geeft een foto van de buis in het omhulsel. De buis kan gemakkelijk met één hand worden vastgehouden, zoodat ook „uit de hand" kan worden bestraald (*fig. 8*). Deze methode heeft het voordeel, dat de buis tijdens de bestraling kleine bewegingen van den patient volgt. Het richten resp. instellen geschiedt veelal zoo, dat een metalen conus (*M* in fig. 6) met een opening, die bepaald wordt door het te bestralen gedeelte, op de te bestralen plaats wordt gezet. Is de opening precies op de gewenschte plaats gebracht, dan schuift de arts de buis in de conus, deze laatste wordt door aandrukken van de buis op zijn plaats gehouden en de bestraling kan een aanvang nemen.

In plaats van uit de hand te bestralen kan men de buis ook monteeren aan een alzijdig te bewegen draagarm, die aan de hoogspanningsgenerator is bevestigd, zie *fig. 9*.

De voeding van de buis

De buis wordt gevoed met gelijkspanning, volgens een schema, dat in principe in *fig. 10* is weergegeven. Het werken met gelijkspanning is vooral gewenscht, omdat tengevolge van electronenemissie door de heete anode gevaar voor terugslag bestaat, indien er spanning in de omgekeerde richting op de buis zou staan [8]). Door de gelijkrichting wordt nu de taak om de hoogspanning in de negatieve fase tegen te houden van de röntgenbuis afgewenteld op de ventielbuis. Ook de constructie van het omhulsel met de glimontladingen in de luchtspleet zou bij wisselspanning gevaarlijk kunnen zijn [9]).

Voor het vermijden van terugslag zou op zichzelf ook een pulseerende gelijkspanning voldoende zijn, zooals men die verkrijgt met de bekende en vaak toegepaste Villard-schakeling, zie *fig. 11a*. Zooals men bij vergelijken met fig. 11*b* ziet, zijn bij de Villard-schakeling transformator, condensator en ventiel slechts met half zoo groote spanningen belast als bij een schakeling voor zwak gerimpelde gelijkspanning met dezelfde topwaarde. Deze laatste biedt echter het voordeel, dat alle electronen de maximale snelheid krijgen. Bij gelijk vermogen, dus bij een gegeven capaciteit van de koeling, uit zich dit rechtstreeks in een verkorten van de noodige bestralingstijden. Daar komt nog bij, dat dank zij

[8]) Zie Philips techn. T. **6**, 316, 1941.
[9]) Vergelijk de analoge situatie bij gashoiten in het diëlectricum van oliekabels en papiercondensatoren: Philips techn. T. **4**, 266, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het geringe vereischte vermogen en de betrekkelijk lage spanning de besparing door de Villard-schakeling hier niet van veel belang is. De geheele generator, die in de in fig. 9 afgebeelde kast is ondergebracht, weegt slechts 20 kg.

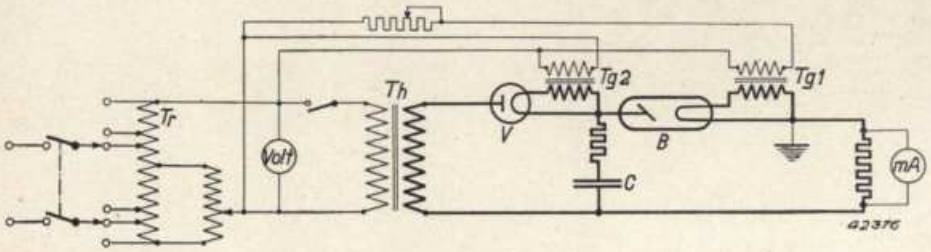


Fig. 10. Principeschema voor de voeding van de buis. Het hoogspanningsgedeelte is met dikke lijnen aangegeven. B röntgenbuis, T_h hoogspanningstransformator, V ventielbuis, C condensator, T_{g1} en T_{g2} gloeistroomtransformatoren, T_r regeltransformator voor correctie van netspanning.

Boven op de generator zijn in dezelfde kast alle schakel- en regelorganen ondergebracht. Deze bevatten ten opzichte van diverse vroeger beschreven installaties slechts één interessante bijzonderheid, die we wat nader willen bespreken, nl. een automatische regeling van de buisstroom. Voor een goede doseering is het noodzakelijk, dat van het begin tot aan het eind van een bestraling nauwkeurig de vooraf ingestelde buisstroom wordt verkregen. Er zijn nu verschillende omstandigheden, die de constantheid van de buisstroom ongunstig beïnvloeden. In de eerste plaats zijn er steeds zekere schommelingen van de netspanning en daarmee van de gloeistroom van de buis. De electronenemissie van de gloeidraad hangt zoo sterk van de draadtemperatuur af, dat een netspanningsvariatie een procentueel tienmaal zoo groote variatie van de buisstroom tengevolge heeft. Men zou dit bezwaar kunnen opheffen door een stabilisator voor de gloeistroom toe te passen, zooals bijv. wordt gedaan bij sommige röntgenapparaten voor diagnostiek, waar men eveneens constante buisstroomen verlangt [10]). In ons geval geeft deze methode niet het gewenschte resultaat, omdat het verband tusschen de gloeistroom en de electronenemissie niet in die mate vastligt als bij de genoemde diagnostiekapparaten. Voornamelijk is dit een gevolg van de kleine afstand tusschen anode en gloeidraad: de na het inschakelen geleidelijk heet wordende anode verhit de kathode door straling, zoodat ook bij constante gloeistroom de emissie toeneemt. De als gevolg hiervan optredende toename van de buisstroom gedurende de eerste minuten na het inschakelen is bijzonder onaangenaam, daar de arts tijdens de bestraling, die vlot binnen enkele minuten (soms reeds in 10 sec) moet verloopen, in plaats van zijn volle aandacht op den patient te kunnen richten, gedwongen zou zijn voortdurend de buisstroom bij te regelen.

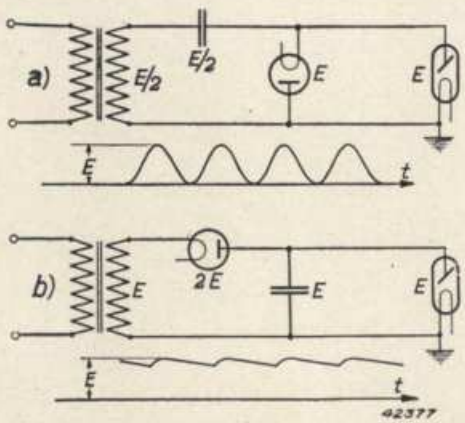


Fig. 11 *a*) Villard-schakeling.
b) Schakeling voor het verkrijgen van veel minder sterk pulseerende gelijkspanning. Bij eenzelfde topwaarde E van de verkregen spanning kunnen alle elementen der schakeling *a* voor een half zoo groote spanning worden uitgevoerd als bij *b*.

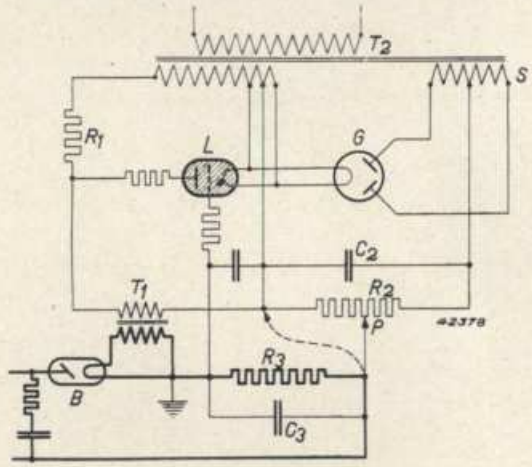


Fig. 12. Vereenvoudigd schema van de regelaar voor het automatisch constant houden van de buisstroom. B is de röntgenbuis.

Om nu alle oorzaken van buisstroomvariaties tegelijk onschadelijk te maken, wordt een gloeispanningsregelaar toegepast, die door de buisstroom zelf wordt bestuurd. In *fig. 12* is de principeschakeling van de regelaar weergegeven. De gloeistroom van de röntgenbuis wordt geleverd door de transformator T_1, die weer gevoed wordt door de transformator T_2 over de weerstand R_1. In deze weerstand wordt een extra spanningsverlies opgewekt

[10]) Philips techn. T. **6**, 12, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

door de stroom in de relaisbuis L. Een toename van de gemiddelde stroomsterkte door L zal dus een vermindering van de gemiddelde gloeistroom tengevolge hebben. Nu werkt op het rooster van L, wanneer we ons de potentiometer P even in de gestippeld geteekende stand denken, de spanning over de weerstand R_3. Deze spanning, die door de condensator C_3 wordt vereffend, is evenredig met de stroom door de röntgenbuis. Neemt de buisstroom toe, dan wordt dus de roosterspanning van de relaisbuis L meer positief, het ontsteekmoment van deze buis in elke periode van de door T_2 geleverde wisselspanning wordt vervroegd, de gemiddelde stroom door de relaisbuis stijgt, en het resultaat is een daling van de gloeistroom van de röntgenbuis, zoodat de toename van de buisstroom wordt tegengegaan. Het regelmechanisme tracht dus de nominale buisstroom te handhaven.

De nominale buisstroom kan worden ingesteld met de potentiometer P. Hiermee kan nl. een in te stellen gedeelte van de vaste gelijkspanning over R_2 (verkregen door gelijkrichting van de op S staande wisselspanning met de gelijkrichterbuis G, en vereffening door C_2) worden afgetrokken van de regelspanning op R_3 C_3. Het rooster der relaisbuis wordt dan bij eenzelfde buisstroom minder positief en het mechanisme is eerst bij een hoogere buisstroom in evenwicht.

Het effect van de regelinrichting is te zien in *fig. 13*, waar de buisstroom als functie van de netspanning is geteekend. Zonder regelaar varieert de op 2 mA ingestelde stroom bij ongeveer 10% netspanningsvariatie tusschen 0,55 en 5 mA, d.i. tusschen 28% en 250% van de nominale waarde; mèt regelaar blijft de stroom beperkt tusschen 1,6 en 2,4 mA, d.i. tusschen 80 en 120% der nominale waarde. De vermindering van het effect van het opwarmen blijkt uit deze grafiek niet, doch proeven hebben aangetoond, dat dit met de stroomregelaar practisch in het geheel niet is te merken.

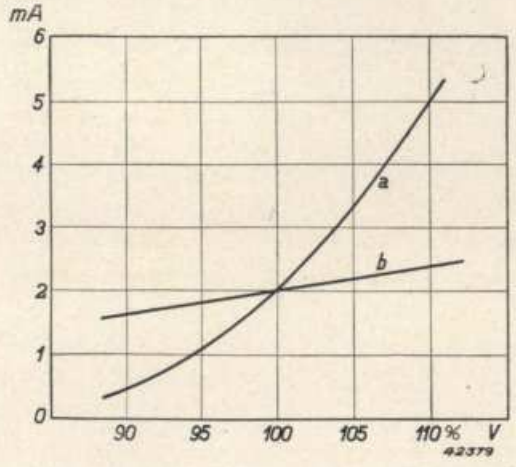


Fig. 13. Verandering van de buisstroom bij schommelingen van de netspanning V. Kromme a zonder regelaar, kromme b met regelaar.

Practische toepassing van het apparaat

Wij wezen er reeds op, dat door de geringe afstanden tusschen focus en huid zeer groote stralingsintensiteiten op het huidoppervlak kunnen worden verkregen. Bij 50 kV buisspanning en 2 mA buisstroom bedraagt de intensiteit aan het oppervlak van de „Philite" dop niet minder dan 7000 tot 8000 r/min (röntgen per minuut). Ter vergelijking zij vermeld, dat een patient bij het doorlichten van de longen een dosis van ongeveer 2 r krijgt, dat de dosis noodig voor het opwekken van een erytheem ongeveer 600 r bedraagt, terwijl 0,2 r de tolerantiedosis is, d.i. de dosis, welke het personeel bij röntgeninstallaties dagelijks mag ontvangen zonder op den duur schade op te loopen. Voor de therapeutische behandeling van gezwellen in de huid zijn totale doses van bijv. 3000 tot 20 000 r vereischt. Men komt dus met een totale bestralingstijd van hoogstens enkele minuten uit. Dit levert de mogelijkheid om het gezwel desgewenscht gedurende één enkele behandeling „weg te branden" (zg. röntgencaustiek van v. d. Plaats). Maar ook, indien men de geheele vereischte dosis om bepaalde redenen niet ineens wil toedienen, is het in ieder geval mogelijk, den patient te behandelen zonder opname in een ziekenhuis. Dit in tegenstelling met een radiumbehandeling, waarbij de normale stralingsintensiteit ongeveer 1000 maal kleiner is, zoodat de bestraling eenige dagen duurt. Dit groote voordeel heeft reeds veel er toe bijgedragen, de röntgenbestraling aan grootere kringen van patienten ten goede te doen komen. Het houdt echter geenszins in, dat in alle gevallen de radiumbehandeling door de contacttherapie zou kunnen worden vervangen. Bij de keuze tusschen deze beide behandelingsmethoden zal de medicus zich dikwijls laten leiden door de vraag, welke methode het gemakkelijkst is toe te passen.

Wij hebben in het begin laten zien, dat de oppervlaktetherapie of contacttherapie in zooveel gunstiger omstandigheden verkeert dan de dieptetherapie. Het percentage genezingen bij de contacttherapie is dan ook zeer hoog en in gevallen, waarin tusschen beide methoden kan worden gekozen, hetgeen voorkomt bij gezwellen in lichaamsholten, zal men meestal de voorkeur geven aan de contacttherapie. In de laatste tijd is men er in enkele gevallen zelfs toe overgegaan om bepaalde dieper gelegen gezwellen langs operatieve weg voor de laatstgenoemde bestralingsmethode toegankelijk te maken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET METEN VAN IMPEDANTIES, SPECIAAL BIJ DECIMETERGOLVEN

door J. M. van HOFWEEGEN.

621.317.33.029.63

Enkele methoden worden besproken, waarop bij radiofrequenties impedanties kunnen worden gemeten. Bij golflengten boven ongeveer 1 meter is het gebruikelijk om de te meten impedantie parallel met een trillingskring te schakelen en uit de verstemmende en dempende invloed, die de kring ondervindt, de gevraagde impedantie te berekenen. Bij decimetergolven wordt als trillingskring een Lechersysteem gebruikt. Een wijze, waarop deze methode in dit laboratorium is uitgewerkt, wordt hier nader beschreven. Als meetinstrument voor het aangeven van de hoogfrequente spanning wordt een diodevoltmeter gebruikt, die slechts relatief geijkt behoeft te zijn.

Bij het toenemend gebruik van hooge frequenties, nl. golven van eenige meters tot enkele decimeters, in radiotechniek en televisie komt steeds meer de noodzakelijkheid naar voren om te beschikken over methoden voor het meten van bij dergelijke frequenties aanwezige impedanties. Als een voor de practijk belangrijk toepassingsgebied van dergelijke meetmethoden noemen wij bijv. het meten van de ingangs- en uitgangsimpedanties van versterkerbuizen, waarvan de kennis voor het gebruik van deze buizen van veel belang is. Een tweede belangrijke toepassing is het meten van de impedantie van lekweerstanden; bij hooge frequenties kan nl. de impedantie hiervan belangrijk afwijken van de gelijkstroomweerstand tengevolge van huideffect en parasitaire capaciteiten en zelfinducties. Voor de toepassing in schakelingen is de kennis van de juiste weerstandswaarde bij de gebruikte frequenties van veel belang.

De impedantie van een schakeling of schakelelement kan op verschillende manieren worden gekarakteriseerd; de meest gebruikelijke wijze is wel door het vastleggen van de verhouding tusschen klemspanning en klemstroom en van de faseverschuiving tusschen deze beide grootheden. In de hoogfrequentie-techniek wordt evenwel bij het aangeven van een impedantie vaak volstaan met het aangeven van een aequivalente parallel- of serieschakeling van twee elementen, waarvan het ééne een zuivere weerstand en het andere een verliesvrije reactantie is. Zoo wordt bijv. de ingangsimpedantie van een radiobuis veelal aangegeven door een equivalente parallelschakeling van een weerstand en een capaciteit, waarbij speciaal de weerstand sterk afhangt van de frequentie [1]). Bij het meten van een impedantie wordt in dit gebied der techniek doorgaans volstaan met het vaststellen van de beide elementen van deze parallelschakeling.

[1]) Zie bijv.: Philips techn. T. 5, 369, 1940.

Alvorens de impedantiemeting bij decimetergolven te behandelen, zullen wij eerst de meetmethoden bespreken, die gebruikelijk zijn voor langere golven.

Impedantiemetingen bij golflengten, grooter dan ongeveer 1 meter

De methoden, volgens welke men bij lage frequenties een impedantie pleegt te meten (uit stroom en spanning, met de brug van Wheatstone of ingewikkelder brugschakelingen), zijn zonder zeer speciale voorzorgen bij radiofrequenties niet meer te gebruiken. De voornaamste reden hier-

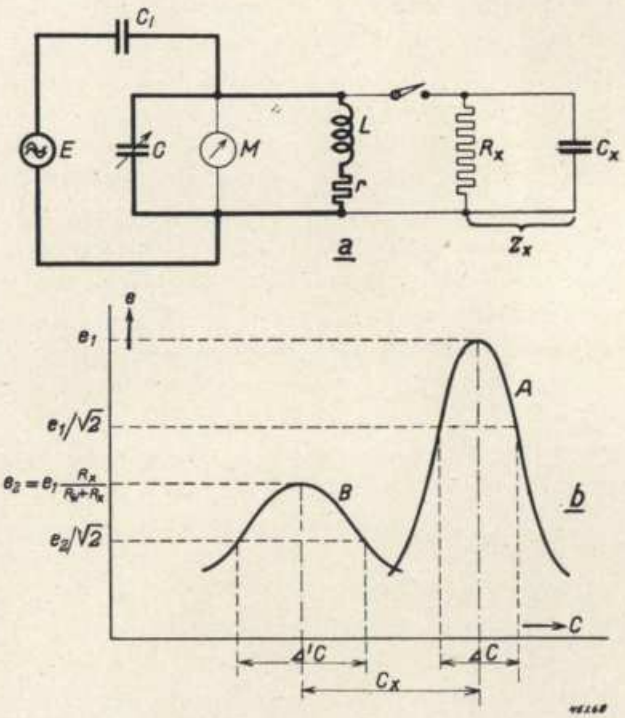


Fig. 1. *a*) Principeschema van de methode, volgens welke bij golflengten boven 1 meter impedanties kunnen worden bepaald. E is een hoogfrequente spanningsbron. De spoel met zelfinductie L en weerstand r vormt met de geijkte variabele condensator C een trillingskring. M is een meetinstrument voor het bepalen van de hoogfrequente spanning op deze kring. R_x en C_x karakteriseeren de te meten impedantie Z_x.

b) De op M afgelezen hoogfrequente spanning e_m als functie van de capaciteit C. A zonder Z_x; B met Z_x.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voor is, dat door de in de schakelingen onvermijdelijke parasitaire capaciteiten en zelfinducties het nooit geheel zeker is, of in twee in serie geschakelde onderdeelen dezelfde stroom vloeit, terwijl ook het aanwezig zijn van eenzelfde spanning tusschen de klemmen van twee parallel geschakelde onderdeelen niet altijd zeker is. Het is daarom gebruikelijk om een impedantie bij hooge frequenties te meten uit de verstemmende en dempende invloed, die deze impedantie op een trillingskring uitoefent. Het principe van de hierbij gebruikte schakeling is in *fig. 1a* voorgesteld. De trillingskring bestaat uit een spoel met zelfinductie L en weerstand r en een daaraan parallel geschakelde, geijkte variabele condensator C. De kring is gekoppeld met de hoogfrequente spanningsbron E, bijv. via een condensator C_1 [2]), terwijl parallel met de kring het spanningsmeetinstrument M is geschakeld, waarop wij later nog zullen terugkomen. Tevens kan de te meten impedantie Z_x, die bijv. is gekarakteriseerd door R_x en C_x, parallel met de kring worden geschakeld.

Het verloop van de meting is nu als volgt: Allereerst wordt de resonantieweerstand van de trillingskring bepaald. Hiertoe wordt de kring (zonder Z_x) afgestemd op de frequentie van de hoogfrequente spanningsbron. De op M afgelezen spanning (e_1, zie *fig. 1b*) is dan dus maximaal. Hierna wordt de condensator C vergroot en verkleind en wel in beide gevallen zoodanig, dat de spanning op de kring ten opzichte van e_1 met een factor $\sqrt{2}$ kleiner wordt [3]). Is het verschil in capaciteit, dat in deze beide gevallen op C wordt afgelezen, gelijk aan ΔC, dan bestaat tusschen ΔC en de resonantieweerstand R_k van de kring het verband:

$$R_k = \frac{2}{\omega \Delta C}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin ω de hoekfrequentie van de aan de kring toegevoerde hoogfrequente spanning voorstelt.

Vervolgens wordt de te meten impedantie parallel met de kring geschakeld. De condensator C moet dan verkleind worden om de kring weer in afstemming te brengen. Het bedrag, waarmede C moet worden verkleind, is gelijk aan C_x [4]). Na het aansluiten van Z_x en het opnieuw afstemmen van de kring is de spanning op de kring, e_2, lager dan deze was, toen de kring zonder Z_x op de meetfrequentie was afgestemd, aangezien de resonantieweerstand thans bestaat uit de parallelschakeling van R_k en R_x. Door een eenvoudige berekening kan men aantoonen, dat e_1 en e_2 zich verhouden als de resonantieweerstanden, dus:

$$e_1 : e_2 = R_k : \frac{R_k R_x}{R_k + R_x},$$

of:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{R_k + R_x}{R_x} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Uit (1) en (2) is nu R_x te berekenen.

Een variant van deze meetmethode bestaat hierin, dat men, na het aansluiten van Z_x en het weer in afstemming brengen van de kring, wederom C vergroot en verkleint met een zoodanig bedrag, dat de spanning op de kring ten opzichte van e_2 met een factor $\sqrt{2}$ kleiner wordt. Is hiervoor een totale capaciteitsvariatie $\Delta' C$ noodig (zie fig. 1*b*), dan wordt de parallelschakeling van R_k en R_x gegeven door:

$$\frac{R_k R_x}{R_k + R_x} = \frac{2}{\omega \Delta' C}, \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Uit (1) en (3) volgt nu tenslotte:

$$R_x = \frac{2}{\omega (\Delta' C - \Delta C)}, \quad \ldots \quad (4)$$

De eerste der hier beschreven methoden, waarbij dus de resonantieweerstand na het aansluiten van Z_x wordt gevonden uit de tophoogte van de resonantiekromme, is speciaal geschikt voor het meten van impedanties, waarvan de weerstandscomponent R_x grooter is dan de kring-resonantieweerstand R_k. De resonantieweerstand van het geheel ondergaat dan door het aansluiten van Z_x en het opnieuw afstemmen van de kring slechts een betrekkelijk kleine wijziging en e_2 is niet veel kleiner dan e_1. De door de spanningsbron geleverde hoogfrequente spanning kan nu zoo groot worden gekozen, dat deze kleine spanningsvariatie kan worden afgelezen bij een groote uitslag van de spanningsmeter M. Past men hier de tweede methode toe, waarbij dus de resonantieweerstand na het aansluiten van Z_x wordt bepaald door het verstemmen van de kring, dan moet volgens (4) de verandering worden gemeten, die ΔC door het aansluiten van Z_x ondergaat. Daar ΔC in den regel vrij klein is, is een kleine variatie hiervan minder nauwkeurig te bepalen.

Is daarentegen R_x zoo klein ten opzichte van R_k, dat e_2 belangrijk kleiner is dan e_1, dan is het gebruik van de laatstbeschreven methode aan te bevelen. Daar het hierbij nl. niet noodig is e_2 met e_1 te vergelijken, kan er door het vergrooten van de door de spanningsbron geleverde spanning voor worden

---

[2]) De kringcapaciteit wordt dan gevormd door $C + C_1$.

[3]) Men kan ook een andere factor nemen. De formule voor R_k krijgt dan echter niet de door (1) voorgestelde eenvoudige gedaante.

[4]) Wanneer de te meten impedantie is weer te geven door een parallelschakeling van een weerstand R_x en een zelfinductie L_x, moet C worden vergroot en wel met een bedrag $\frac{1}{\omega^2 L_x}$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gezorgd, dat ook het aflezen van e_2 bij een groote uitslag van het meetinstrument M kan plaats hebben. In dit geval is nl. het verschil tusschen ΔC en $\Delta' C$ vrij groot en vervalt het in de vorige alinea genoemde bezwaar tegen deze methode.

Omdat, zooals hierboven reeds werd vermeld, dikwijls zeer kleine waarden van ΔC, resp. $\Delta' C$, nauwkeurig moeten kunnen worden afgelezen, terwijl voor de meting van C_x vaak een tamelijk groote variatie van C noodig is, wordt in de practijk doorgaans in plaats van één enkele variabele condensator een parallelschakeling van twee geijkte variabele condensatoren gebruikt, nl. een groote voor de meting van C_x en een kleine voor de bepaling van ΔC en eventueel $\Delta' C$. De aandacht dient nog te worden gevestigd op het feit, dat de absolute waarde van de kringcapaciteit voor de metingen van geen belang is, zoodat de capaciteit van bedrading en dergelijke geen rol speelt. Om deze reden is het ook niet noodzakelijk C_1 bijzonder klein te maken. Immers, C_1 kan worden beschouwd als zijnde een gedeelte van de totale kringcapaciteit. Een groote waarde van C_1 zal dus de nauwkeurigheid van de meting in eerste instantie niet beïnvloeden. Wel dient men er rekening mede te houden, dat bij een groote waarde van C_1 de kring dikwijls sterk wordt gedempt door de inwendige weerstand van de spanningsbron. Het gevolg hiervan is een kleine waarde van R_k, die de bepaling van een groote R_x onnauwkeurig maakt.

De beschreven meetmethode is uitsluitend mogelijk door het feit, dat een goede variabele condensator bij de hier bedoelde frequenties practisch verliesvrij is, zoodat een variatie van C de verliezen van de kring niet beïnvloedt. Het gebruik van een variabele condensator, die niet als verliesvrij kan worden beschouwd, leidt dan ook tot foutieve resultaten.

Volgens het hier beschreven principe kunnen impedanties worden gemeten, waarvan het weerstandsgedeelte, R_x, van dezelfde orde van grootte is als de resonantieweerstand van de gebruikte trillingskring (bijv. van 20 R_k tot $1/20 R_k$).

Wanneer men een zeer kleine impedantie wenscht te meten, zooals bijv. de impedantie van een korte metaaldraad, zou men derhalve een trillingskring moeten construeeren met een zeer kleine resonantieweerstand. Dit zou het gebruik van een zeer groote variabele condensator noodzakelijk maken. Daar deze condensator behalve aan de eischen van nauwkeurigheid en verliesvrijheid, speciaal bij golflengten beneden 10 m, ook nog aan maximale afmetingen is gebonden (zie later), is hierdoor een onderste grens gesteld aan de waarde van R_x, die op deze wijze nog kan worden gemeten. Zeer kleine impedanties kunnen echter op een soortgelijke manier worden bepaald. Deze worden dan niet parallel met de trillingskring, doch in serie met de kringspoel geschakeld. De hierbij toe te passen formules zijn minder eenvoudig dan de hierboven vermelde. Voor de uitwerking is de kennis van de absolute waarde van de capaciteit C (of van de zelfinductie L) vereischt.

In de practijk kan de beschreven meetmethode worden toegepast tot golflengten van ongeveer 1 meter, hoewel reeds bij golflengten van enkele meters bepaalde maatregelen noodig zijn teneinde systematische meetfouten te vermijden. Speciaal dient aandacht te worden besteed aan het zeer kort maken van de verbindingen tusschen de verschillende onderdeelen, om te voorkomen, dat de zelfinductie van de verbindingsdraden foutieve uitkomsten doet ontstaan. Daar, waar om mechanische redenen een verbinding niet kort genoeg kan worden gemaakt, kan het noodzakelijk zijn de zelfinductie van de verbindingsdraad te compenseeren door in serie met de betreffende draad een capaciteit te schakelen. Zoo is in *fig. 2* aangegeven, hoe

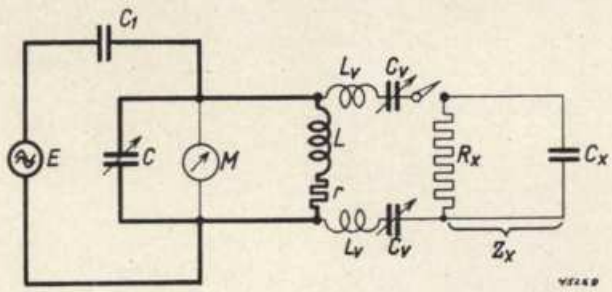


Fig. 2. De zelfinducties L_v van de aansluitdraden van de te meten impedantie kunnen door capaciteiten C_v worden gecompenseerd. Zie voor de beteekenis der andere symbolen het onderschrift van fig. 1.

de zelfinductie L_v van de verbindingen tusschen de te meten impedantie en de kring worden gecompenseerd door capaciteiten C_v, die met L_v in serie-resonantie zijn [5]), zoodat geldt: $\omega L_v = 1/\omega C_v$.

Een ander bezwaar, dat vaak optreedt, is, dat de ijking van de condensator C, die in het algemeen bij een lage frequentie is geschied, bij de hooge frequentie, waarbij wordt gemeten, niet meer juist is tengevolge van de zelfinductie van de verbindingsdraden. Ook in deze verbindingen dienen dus in dit geval capaciteiten te worden opgenomen. Verder dienen de afmetingen van de condensator C klein te worden gehouden, daar anders zelfs de zelfinductie van de vaste en draaibare platen het laatstgenoemde bezwaar kan veroorzaken. Omdat in dit geval de zelfinductie afhangt van de grootte

[5]) De instelling van deze capaciteiten op de juiste waarde kan op verschillende wijzen geschieden. Een gebruikelijke methode is om in plaats van Z_k een tweede spanningsmeetinstrument aan te sluiten en de condensatoren C_v zoodanig in te stellen, dat de spanning, die op dit laatste instrument wordt afgelezen, gelijk is aan de op M afgelezen spanning.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van C, kan deze niet door een condensator in de verbindingsdraden worden opgeheven.

Behalve uit een capaciteitsvariatie is het ook mogelijk de resonantieweerstand van een trillingskring te bepalen door een variatie van de frequentie van de hoogfrequente spanningsbron. Hierbij kan dus een vaste afstemcapaciteit worden gebruikt. De frequentie wordt nu zoover gevarieerd, dat de kringspanning aan beide zijden van de resonantietop met een factor $\sqrt{2}$ is verminderd. Is de totale frequentievariatie, die hiervoor noodig is, Δf, dan is de resonantieweerstand gegeven door:

$$R_k = \frac{1}{2\pi C \Delta f} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Daar bij de hier bedoelde zeer hooge frequenties het nauwkeurig meten van kleine frequentievariaties doorgaans moeilijker is uit te voeren dan het nauwkeurig ijken van een variabele condensator, is voor de practijk de meting met een vaste frequentie en een variabele capaciteit van grooter beteekenis.

Als meetinstrument komt bij de hier besproken metingen practisch uitsluitend een diodevoltmeter in aanmerking. Voor het kort houden van de verbindingen, die hoogfrequente wisselstroom voeren, wordt de diode doorgaans direct aan de kring gesoldeerd. In *fig. 3* is een schema weergegeven, volgens hetwelk een diode-voltmeter kan zijn geschakeld. De diode D is via de condensator C_d met de trillingskring verbonden. De aan de diode verkregen gelijkspanning veroorzaakt een gelijkstroom in de lekweerstand R_l, die met de micro-amperemeter M_1 wordt gemeten. De batterij V_a en de spanningsdeeler R_a dienen om aan de anode van de diode een kleine negatieve spanning te kunnen geven, waardoor het werkpunt op de diodekarakteristiek op een gunstige plaats kan worden ingesteld. De batterij V_f en de regelweerstand R_f dienen voor de levering en regeling van de gloeistroom van de diode. Daar de met a, b en c aangegeven leidingen geen hoogfrequente wisselstroom voeren, kunnen de onderdeelen V_a, R_a, V_f, R_f en M_1 op een willekeurige afstand van de trillingskring worden opgesteld.

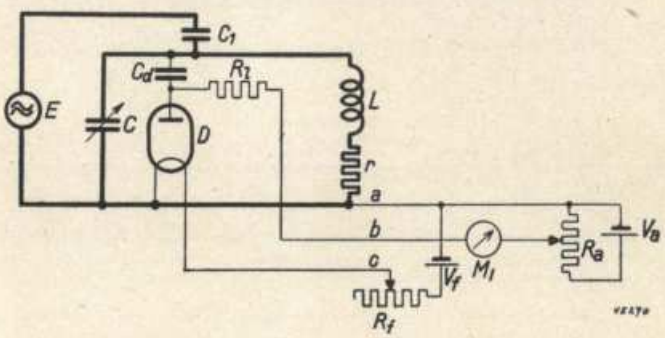


Fig. 3. Schakeling van de diode-voltmeter voor het meten van de hoogfrequente spanning op de trillingskring. D is de diode, R_l de lekweerstand, M_1 is een micro-ampèremeter. V_f en V_a zijn batterijen ter levering van de gloeistroom en van een kleine negatieve anodespanning, die resp. met de regelweerstand R_f en de spanningsdeeler R_a kunnen worden geregeld. De met a, b en c aangegeven leidingen voeren geen hoogfrequente stroom en kunnen dus willekeurig lang zijn.

Vermelding verdient nog het feit, dat voor deze metingen de diode-voltmeter slechts relatief geijkt behoeft te worden. Daar men nl. slechts verhoudingen van spanningen wenscht te kunnen meten, is de absolute waarde van de hoogfrequente spanning niet van belang. Het is dan ook niet noodzakelijk, dat op de diode dezelfde hoogfrequente spanning staat als op de trillingskring. De koppeling tusschen deze beide kan dus desgewenscht zeer los zijn door een zeer kleine waarde van C_d. Eventueel kan de diode ook op een andere wijze met de trillingskring worden gekoppeld, bijv. door een inductieve koppeling met de spoel L.

De ijking van de diode-voltmeter wordt in den regel uitgevoerd bij een lage frequentie. Nu zijn er twee oorzaken, tengevolge waarvan een bij een lage frequentie uitgevoerde ijking bij zeer hooge frequenties niet meer juist is. De eerste oorzaak is gelegen in de zelfinductie van de toevoerleidingen naar de diode en de capaciteit van de diode. Hierdoor wordt echter alleen de absolute ijking beïnvloed [6]). De tweede oorzaak komt van het feit, dat de electronen een zekere tijd noodig hebben om, van de kathode komende, de anode te bereiken. Hoewel deze tijd zeer klein is, is zij bij zeer hooge frequenties vaak niet meer te verwaarloozen ten opzichte van de trillingstijd van de anodewisselspanning. Daar de looptijd der electronen afhangt van de anodespanning, zal de frequentie, waarbij men de invloed van de looptijd der electronen op de ijking van de diodevoltmeter gaat bemerken, mede worden bepaald door de grootte van de aan de diode toegevoerde wisselspanning. Het gevolg hiervan is, dat bij zeer hooge frequenties ook een invloed van de frequentie op de relatieve ijking optreedt. Teneinde de looptijd der electronen zeer klein te houden en hierdoor de bij een lage frequentie uitgevoerde ijking tot een zoo hoog mogelijke frequentie nog bruikbaar te maken, worden voor meetdoeleinden meestal speciaal hiervoor ontwikkelde dioden gebruikt [6]), waarbij o.a. in het bijzonder aandacht is besteed aan een kleine afstand tusschen anode en kathode.

[6]) Zie Philips techn. T. 7, 124, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Impedantiemetingen bij decimetergolven

Voor golflengten beneden 1 meter kan practisch geen normale trillingskring met variabele capaciteit meer worden gemaakt, daar hiervoor een te kleine zelfinductie en capaciteit noodig zijn. Wel is het mogelijk een dooskring voor golflengten beneden 1 meter te construeeren, doch deze heeft voor metingen op de boven beschreven wijze verschillende bezwaren, waarvan wel het voornaamste is, dat de aansluiting van de te meten impedantie voor het kort houden van de verbindingen binnen de dooskring zou moeten geschieden, waardoor een zeer onpractische constructie zou ontstaan.

Men kan echter bij deze golven in plaats van een geconcentreerde capaciteit en zelfinductie ook een Lechersysteem gebruiken. We zullen, in hetgeen volgt, één der in dit laboratorium uitgewerkte meetmethoden beschrijven, waarbij van een Lechersysteem gebruik wordt gemaakt.

Een aan het uiteinde kortgesloten Lechersysteem, waarvan de lengte ongeveer gelijk is aan een kwart golflengte, vertoont veel overeenkomst met een trillingskring met geconcentreerde capaciteit en zelfinductie en wel met een kring, waarbij deze beide parallel geschakeld zijn (parallelkring). Evenals deze laatste vertoont het Lechersysteem bij voldoende verliesvrijheid een hooge resonantieweerstand [7]). Verstemming van het systeem kan plaats vinden door verandering van de lengte, dus door verschuiving van een beweegbare kortsluitbrug. We kunnen nu de resonantieweerstand bepalen op een manier, die geheel analoog is met de methode, die bij een parallelkring wordt gevolgd. Hiertoe wordt het Lechersysteem met een hoogfrequente spanningsbron E gekoppeld, bijv. door middel van kleine capaciteiten C_1 (*fig. 4a*; de schakelaars S worden voorloopig open ondersteld). Op een meetinstrument M kan de hoogfrequente spanning aan de klemmen van het Lechersysteem worden afgelezen.

De resonantieweerstand wordt nu als volgt gemeten: Allereerst wordt het Lechersysteem (zonder Z_x) afgestemd op de frequentie van de hoogfrequente spanningsbron E. De op M afgelezen spanning, e_1 (zie *fig. 4b*), is dan maximaal. Vervolgens wordt de lengte vergroot en verkleind, in beide gevallen zoodanig, dat de spanning ten opzichte van de maximale in de verhouding $1 : \sqrt{2}$ kleiner wordt. Is de afstand tusschen deze beide standen van de kortsluitbrug Δl, dan bestaat tusschen de resonantieweerstand R_s en Δl het verband:

$$\frac{R_s}{\zeta} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l} = \frac{6 \cdot 10^{10}}{\omega \Delta l}, \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

waarbij ζ de golfweerstand [7]) is van het Lechersysteem en Δl is uitgedrukt in cm. Deze formule geldt alleen, zoolang Δl klein is ten opzichte van een kwart golflengte. Een normaal systeem vertoont echter steeds een zoo groote resonantieweerstand, dat Δl klein genoeg is om formule (6) te kunnen toepassen.

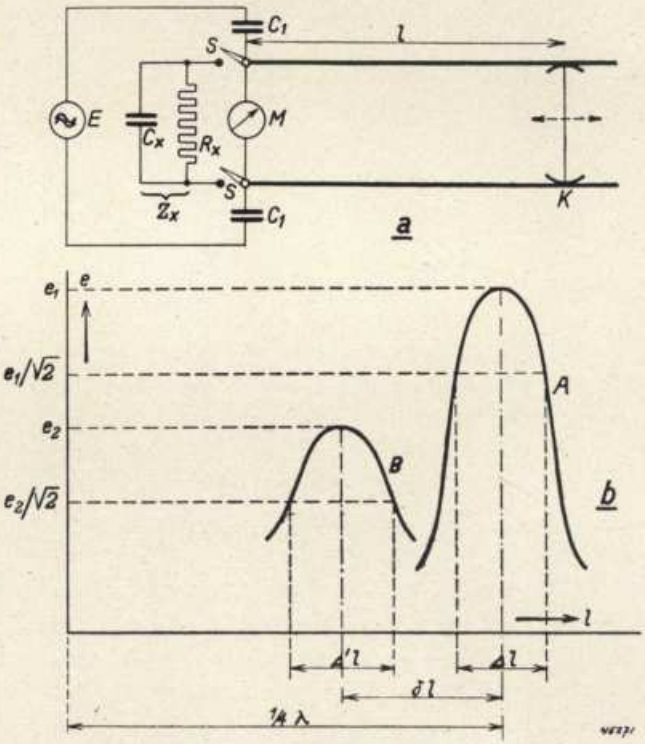


Fig. 4. *a*) Principeschema van de wijze, waarop met behulp van een afgestemd Lechersysteem impedanties kunnen worden gemeten. Het systeem, waarvan de lengte l bedraagt, is door middel van de kleine capaciteiten C_1 gekoppeld met de hoogfrequente spanningsbron E. M is een meetinstrument voor het aangeven van de hoogfrequente spanning aan de ingangsklemmen van het Lechersysteem. R_x en C_x karakteriseeren de te meten impedantie Z_x. K is de beweegbare kortsluitbrug, waarmede het Lechersysteem wordt afgestemd.

b) De op M afgelezen hoogfrequente spanning e als functie van de lengte l. A zonder Z_x; B met Z_x.

Formule (6) vertoont veel overeenkomst met (1), welke overeenkomst door een iets andere schrijfwijze nog duidelijker naar voren komt. Noemen we nl. de zelfinductie en de capaciteit van het Lechersysteem per eenheid van lengte resp. L^I en C^I, dan is de golfweerstand gegeven door:

$$\zeta = \sqrt{\frac{L^I}{C^I}},$$

terwijl tusschen L^I en C^I het verband bestaat:

$$\sqrt{L^I \cdot C^I} = \frac{1}{v} = \frac{2\pi}{\omega\lambda},$$

waarbij v de voortplantingssnelheid der electromagnetische golven langs het Lechersysteem voorstelt.

[7]) Zie Philips techn. T. **6**, 241, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voor de resonantieweerstand krijgen wij dan:

$$R_s = \frac{2}{\omega C^I \Delta l}.$$

Daar C^I de capaciteit per eenheid van lengte voorstelt, is $C^I \Delta l$ de capaciteitsvariatie van het systeem en komt dus deze uitdrukking geheel overeen met (1).

Bij het voorafgaande werd ondersteld, dat het Lechersysteem in resonantie is met de spanning van de meetzender bij een lengte l, die nauwkeurig gelijk is aan een kwart golflengte (zie fig. 4*b*, kromme *A*). In de practijk is dit echter meestal niet te verwezenlijken. Het is nl. niet te vermijden, dat tusschen de aansluitklemmen een zekere capaciteit optreedt en wel de capaciteit van de isolator, waarmede de uiteinden van de beide geleiders moeten worden gesteund en de capaciteit van de koppelcondensatoren C_1. Door deze capaciteiten zal resonantie met de zenderspanning optreden bij een lengte l, die kleiner is dan een kwart golflengte. Wanneer de genoemde capaciteit zoo klein gehouden kan worden, dat de lengte l, waarbij resonantie optreedt, slechts weinig van een kwart golflengte afwijkt, kan formule (6) echter toch voor de berekening van de resonantieweerstand worden toegepast. Is de capaciteit, waarvan hierboven sprake was, hiertoe niet klein genoeg, dan kan door middel van een hulp-Lechersysteem een compensatie van deze capaciteit worden verkregen (zie later).

Voor het meten van Z_x wordt nu deze impedantie parallel met het Lechersysteem geschakeld (fig. 4*a*, waarbij de schakelaars *S* nu gesloten zijn). Is de te meten impedantie te karakteriseeren door de parallelschakeling van een weerstand en een capaciteit C_x, dan moet de lengte van het Lechersysteem worden verkleind om het systeem weer in afstemming te brengen met de toegevoerde hoogfrequente spanning. Is de lengte, waarmede men l moet verkleinen, gelijk aan δl (zie fig. 4b), dan is C_x vastgelegd door:

$$\omega C_x = \frac{1}{\zeta} \operatorname{tg} 2\pi \frac{\delta l}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Is de te meten impedantie weer te geven door een parallelschakeling van een weerstand en een zelfinductie L_x, dan moet l voor het opnieuw afstemmen worden vergroot. De zelfinductie L_x is dan te berekenen uit de vergelijking:

$$\omega L_x = \zeta \operatorname{cotg} 2\pi \frac{\delta l}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Voor de bepaling van de resonantieweerstand van het Lechersysteem en van het reactieve gedeelte van de gevraagde impedantie wordt dus het Lechersysteem op dezelfde wijze gebruikt als de reeds behandelde parallelkring, zij het dan met toepassing van ietwat andere formules. Bij de bepaling van R_x dient men echter rekening te houden met het feit, dat bij een Lechersysteem de verliezen afhankelijk zijn van het variabele element, nl. de lengte, zulks in tegenstelling tot de verliezen van de parallelkring, die niet van het variabele element (verliesvrije condensator) afhangen. Terwijl bij de schakeling volgens fig. 1*a* het aansluiten van een verliesvrije condensator C_x (dus zonder R_x) en het overeenkomstig verkleinen van C geen invloed uitoefent op de resonantieweerstand, ondergaat bij de schakeling volgens fig. 4*a* de resonantieweerstand wèl een wijziging door het aansluiten van een verliesvrije condensator C_x en het overeenkomstig verkleinen van l. Het zou dus tot foutieve resultaten leiden, indien men rekende, dat na het aansluiten van Z_x en het opnieuw afstemmen van het Lechersysteem de weerstand tusschen de klemmen samengesteld zou zijn uit de parallelschakeling van R_x en de uit (6) berekende waarde van R_s. Hoewel de bepaling van R_x uit de verhouding van e_2 tot e_1, of uit $\Delta' l$ en Δl (zie fig. 4*b*), nu ook mogelijk is, leidt deze berekening in bepaalde gevallen tot weinig zekere resultaten, omdat de manier, waarop de verliezen afhangen van de lengte van het Lechersysteem, meestal niet nauwkeurig bekend is. Deze verliezen ontstaan nl. door verschillende oorzaken en wel:

a) de weerstand van de geleiders en van de beweegbare kortsluitbrug,
b) de weerstand van de contacten tusschen de geleiders en de kortsluitbrug,
c) de verliezen in de isolatoren, waarmede de geleiders moeten worden gesteund, en
d) de straling van de geleiders en van de kortsluitbrug.

Het hangt nu van de constructie van het systeem af, in welke verhouding deze verliezen tot elkaar staan. Bij een Lechersysteem, dat zonder afscherming wordt gebruikt, overweegt dikwijls de straling van de kortsluitbrug. Door het aanbrengen van een doelmatige afscherming kunnen de stralingsverliezen van geleiders en kortsluitbrug grootendeels worden opgeheven, doch wat betreft de eerstgenoemde kan dit nooit volkomen geschieden, daar de afscherming aan de zijde, waar de impedantie Z_x moet worden aangesloten, open dient te zijn en de deelen van de geleiders, die in de nabijheid van deze opening zijn gelegen, dus toch zullen stralen.

Ieder van de vermelde verliezen vertoont een andere afhankelijkheid van de lengte van het Lechersysteem. Voor de toepasbaarheid van de formule (6), die slechts betrekking heeft op kleine

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

variaties van de lengte in de nabijheid van $^1/_4$ golflengte, blijkt dit voor de practijk van geen belang te zijn. Op de formules (7) en (8) hebben de verliezen van het Lechersysteem, ook bij groote waarden van δl, in eerste benadering geen invloed, zoodat voor de bepaling van de reactieve component van Z_x de wijze, waarop de verliezen met de lengte van het systeem samenhangen, niet bekend behoeft te zijn. Bezit de te meten impedantie practisch geen reactieve component, dus is δl klein ten opzichte van $^1/_4$ golflengte, dan kan ook R_x gemeten worden, zonder dat men over de aard der verliezen nadere gegevens behoeft te bezitten, daar in dit geval zoowel de meting van R_s, als die van R_s parallel met R_x, geschiedt bij een lengte van het Lechersysteem, die slechts weinig afwijkt van $^1/_4$ golflengte. De bepaling van R_x geschiedt dan uit de verhouding van e_1 en e_2, of uit Δl en $\Delta' l$ (zie fig. 4*b*), op analoge wijze als bij het gebruiken van een parallelkring. Is echter de reactieve component van Z_x niet te verwaarloozen, dus is δl niet klein ten opzichte van $^1/_4$ golflengte, dan zijn e_2 en $\Delta' l$ afhankelijk van de wijze, waarop de verliezen met de lengte van het Lechersysteem samenhangen en treedt de bovenvermelde onzekerheid op bij de bepaling van R_x uit e_1 en e_2, of uit Δl en $\Delta' l$.

In vele gevallen is de hoofdoorzaak van de optredende verliezen niet gelegen in het eigenlijke Lechersysteem, doch in het meetinstrument M. De verliezen zijn dan geheel geconcentreerd bij de aansluitklemmen van het systeem. In dit geval kan ook bij een grootere waarde van δl de bepaling van R_x op één der bovenvermelde wijzen plaats vinden. Bij de bepaling uit Δl en $\Delta' l$ is de parallelschakeling van R_x en R_s in dit geval gegeven door de formule:

$$\frac{R_x R_s}{R_x + R_s} = \frac{\lambda}{\pi \Delta' l} \cos^2 (2\pi \frac{\delta l}{\lambda}),$$

welke vergelijking, in combinatie met (6) de berekening van R_x mogelijk maakt.

Tengevolge van de vermelde onzekerheid omtrent de wijze, waarop de verliezen afhangen van de lengte van het Lechersysteem, is het gewenscht, de meetinrichting zoodanig uit te voeren, dat de meting van R_x steeds kan plaatsvinden, terwijl de lengte l ongeveer $^1/_4$ golflengte is. Een practische methode hiervoor is om met de beginklemmen van het bovenbedoelde Lechersysteem een tweede Lechersysteem (*fig.* 5) te verbinden. Dit laatste systeem is eveneens voorzien van een beweegbare kortsluitbrug, zoodat ook hiervan de lengte, l_{II}, kan worden ingesteld.

Onderstellen we nu allereerst, dat l_{II} gelijk is aan een kwart golflengte, dan heeft de ingangsimpedantie hiervan geen reactieve component. Dientengevolge kan de meting van C_x plaats vinden met behulp van het systeem I, geheel zooals hierboven reeds werd beschreven. Indien nu het systeem II geheel gelijk is aan het systeem I, dan kan de meting van R_x met behulp van II

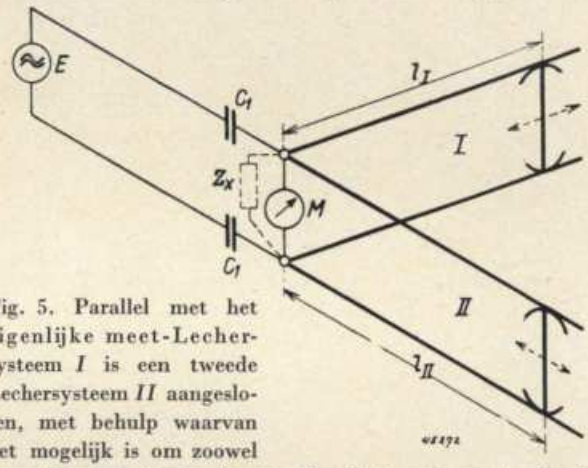


Fig. 5. Parallel met het eigenlijke meet-Lechersysteem I is een tweede Lechersysteem II aangesloten, met behulp waarvan het mogelijk is om zoowel de meting van C_x als die van R_x uit te voeren, terwijl de lengte l_I slechts weinig van een kwart golflengte afwijkt.

plaats vinden. Om practische redenen, is echter bij de in dit laboratorium uitgevoerde installatie het systeem II constructief anders uitgevoerd dan het systeem I (zie later). Voor de bepaling van R_x gaat men nu als volgt te werk:

Nadat C_x met behulp van systeem I is bepaald, wordt l_I wederom ongeveer op een kwart golflengte ingesteld. De lengte l_{II} wordt nu zoodanig gewijzigd, dat C_x door de reactieve component van de ingangsimpedantie van het systeem II wordt gecompenseerd, wat geconstateerd wordt aan het feit, dat het geheel dan weer in resonantie is met de zenderfrequentie, zoodat de uitslag van het meetinstrument M een maximum vertoont. De impedantie tusschen de klemmen van de beide Lechersystemen is nu samengesteld uit de parallelschakeling van R_x, R_s en de ingangsweerstand van het systeem II, die wij met R'_s zullen aanduiden. De grootte van deze parallelschakeling kan met systeem I worden bepaald door $\Delta' l$ te meten (waarbij dus thans $\delta l = 0$ is) en we kunnen hieruit R_x berekenen, indien we de parallelschakeling van R_s en R'_s kennen. Daar R'_s afhangt van de lengte l_{II} van het hulp-Lechersysteem, moet deze laatste parallelschakeling worden gemeten bij die grootte van l_{II}, waarbij het systeem II met C_x in resonantie is. Dit kan het eenvoudigst geschieden door Z_x te vervangen door een verliesvrije condensator, waarvan de grootte overeenkomt met C_x. Daar bij de golflengten, die hier worden beschouwd, capaciteiten van meer dan enkele pF zelden behoeven te worden gemeten, kan voor deze hulpcapaciteit gebruik worden gemaakt van twee kleine metalen plaatjes, die met een kleine tusschenruimte

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zijn opgesteld. De instelling van de capaciteit geschiedt dan door het verbuigen van deze plaatjes.

Het hulp-Lechersysteem heeft bij de in dit laboratorium uitgevoerde installatie nog een andere functie en wel is met het kortgesloten uiteinde hiervan de diode-voltmeter inductief gekoppeld. Daar nl. ook hier weer een relatieve meting van de hoogfrequente spanning voldoende is, is het niet noodzakelijk de absolute waarde der spanning aan de klemmen van het systeem I te kennen. Het is dus voldoende, om de spanning te meten tusschen de klemmen m en n van een lusje, dat met het kortgesloten uiteinde van het Lechersysteem II inductief is gekoppeld; zie *fig. 6*. Bij een vaste lengte l_{II} is deze spanning evenredig met de klemspanning van de beide systemen. Door deze mogelijkheid om de diode te monteeren op eenige afstand van de klemmen van de Lechersystemen, ontgaat men verschillende constructieve bezwaren, die optreden bij de directe bevestiging van een diode aan deze klemmen. Speciaal het kort houden van de verbindingen naar de te meten impedantie wordt door het aanbrengen van een diode op deze plaats doorgaans zeer bemoeilijkt. Het inductief koppelen van de spanningsmeter M met de kortsluitbrug van het systeem II maakt, dat dit systeem eigenlijk niet meer als aan het eind kortgesloten mag worden beschouwd. Om deze reden is het gewenscht zoowel de meting van C_x, als die van R_x, met het systeem I uit te voeren, zooals werd beschreven.

Gelijk reeds hierboven werd aangeduid, is tusschen de aansluitklemmen steeds een zekere capaciteit aanwezig, tengevolge waarvan het reeds bij de meting van R_s niet mogelijk zou zijn om een lengte l_I te gebruiken, die ten naaste bij een kwart golflengte is. In de variabele lengte l_{II} van het systeem II heeft men nu tevens een middel om deze capaciteiten te compenseeren, zoodat dus alle metingen kunnen plaats vinden bij een lengte l_I van het Lechersysteem I, die slechts weinig verschilt van een kwart golflengte.

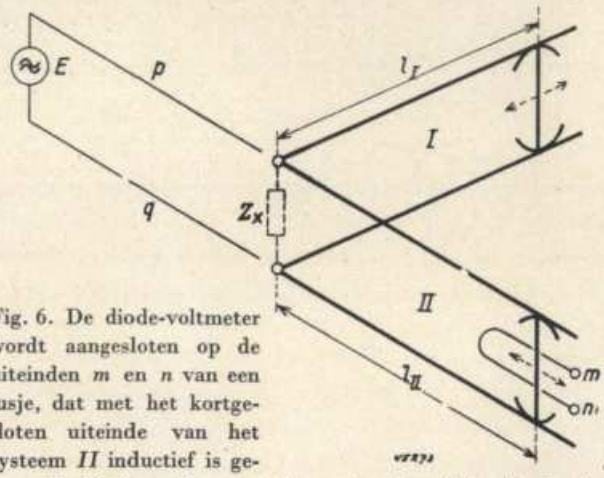


Fig. 6. De diode-voltmeter wordt aangesloten op de uiteinden m en n van een lusje, dat met het kortgesloten uiteinde van het systeem II inductief is gekoppeld. De koppeling met de meetzender E heeft plaats, doordat de uiteinden van de beide geleiders p en q zich op een kleine afstand van de aansluitklemmen van de Lechersystemen bevinden.

De koppeling van de spanningsbron (meetzender) E met de meetinrichting kan geschieden, doordat de uiteinden van twee geleiders, p en q, op een kleine afstand van de aansluitklemmen van de beide Lechersystemen worden opgesteld (zie fig. 6). Door variatie van deze afstand kan de koppeling naar behoefte worden geregeld. Voor het kort houden van de verbindingen wordt de te meten impedantie niet, zooals in fig. 4*a* eenvoudigheidshalve is voorgesteld, door middel van schakelaars aangesloten, doch wordt het meetobject direct aan de klemmen gesoldeerd.

Fig. 7 is een schets van een meetinrichting, als in het voorgaande is beschreven. De hier afgebeelde opstelling wordt gebruikt voor impedantiemetingen bij golflengten van ongeveer 50 cm.

Evenals bij metingen met een parallelkring is ook bij de hier beschreven metingen met een Lechersysteem een onderste grens gesteld aan de weerstand R_x, die nog kan worden gemeten [8]). Bij een kleine waarde van R_x is nl. volgens formule (6) een groote waarde van Δl noodig en voor een waarde van Δl, die niet meer als klein kan worden beschouwd ten opzichte van een kwart golflengte, kan (6) niet meer worden toegepast. Het verkleinen van de golfweerstand ζ, hetgeen volgens (6) ook het meten van een kleinere waarde van R_x mogelijk zou maken, is vaak niet uit te voeren, daar voor een kleine golfweerstand de beide geleiders van het Lechersysteem zich zeer dicht bij elkaar moeten bevinden, wat meestal aanleiding geeft tot mechanische moeilijkheden.

Weerstanden, die tenminste enkele malen kleiner zijn dan de golfweerstand, kunnen worden gemeten door deze met de meetinstallatie te verbinden onder tusschenschakeling van een Lechersysteem ter lengte van een kwart golflengte. Zooals in het onder [6]) aangehaalde artikel reeds werd vermeld, kan een dergelijk Lechersysteem worden opgevat als een transformator, die een impedantie Z transformeert in een impedantie ζ^2/Z. Een weerstand die een bepaald aantal malen kleiner is dan de golfweerstand ζ, wordt dus met behulp van een

[8]) Een bovenste grens is gesteld door de nauwkeurigheid, waarmee Δl kan worden bepaald.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

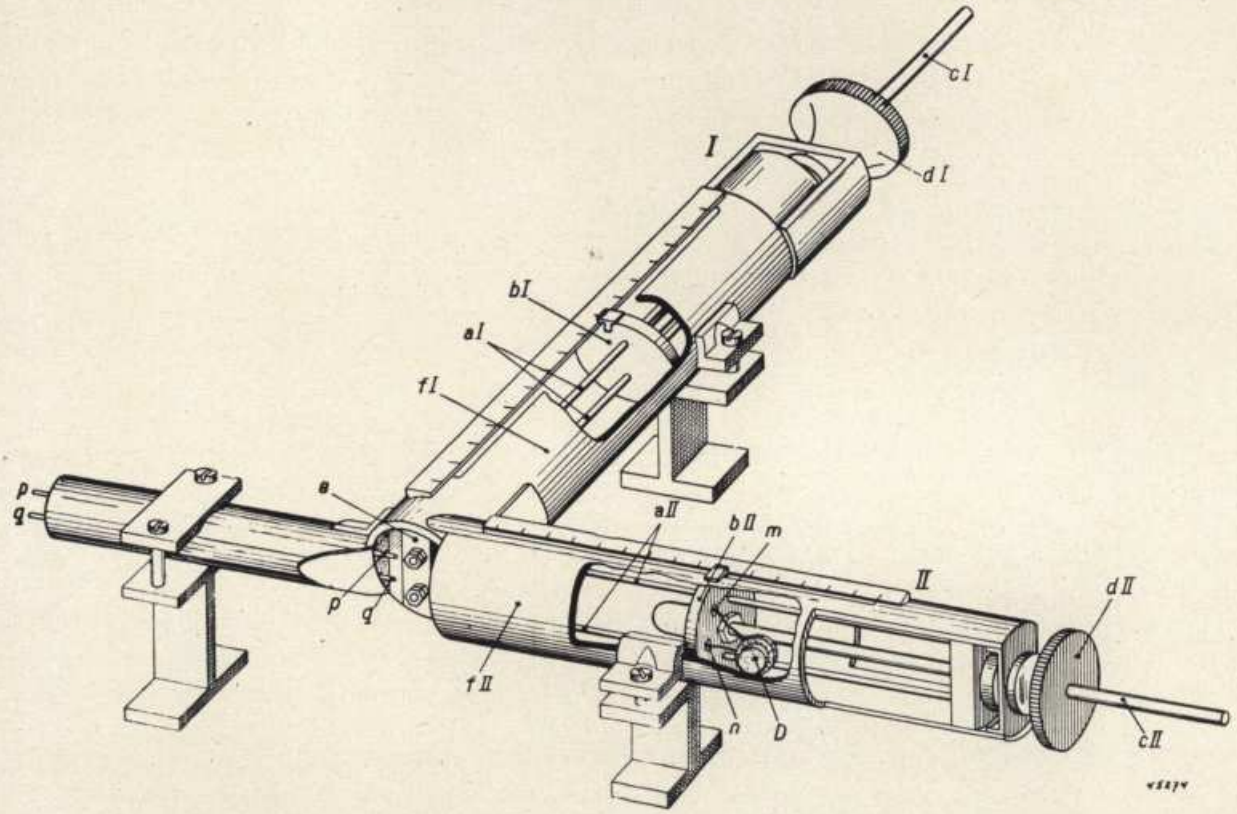


Fig. 7. Schets van een opstelling voor het meten van impedanties bij golflengten van ongeveer 50 cm volgens het in fig. 6 aangegeven principe. Teneinde de constructie duidelijk te doen uitkomen zijn de afschermingen *f*, die de Lechersystemen omgeven, ten deele opengesneden. Voor de beteekenis van de symbolen *I*, *II*, *p*, *q*, *m* en *n* verwijzen wij naar fig. 5 en 6. Met *a* zijn de beide geleiders van elk der Lechersystemen aangegeven; *b* zijn de kortsluitbruggen, die door middel van de schroefstangen *c* en de knoppen *d* kunnen worden bewogen. *e* is een plaatje uit isolatiemateriaal. *D* is de meetdiode.

dergelijke transformator getransformeerd tot een weerstand, die eenzelfde aantal malen grooter is dan de golfweerstand. In wezen komt het aanbrengen van dit transformatie-Lechersysteem neer op het gebruiken van een aan het eind kortgesloten Lechersysteem ter lengte van een halve golflengte, waarbij de koppeling met de meetzender en de aansluiting van het hulp-Lechersysteem thans in het midden van het meet-Lechersysteem plaatsvindt (zie *fig. 8*) [9]).

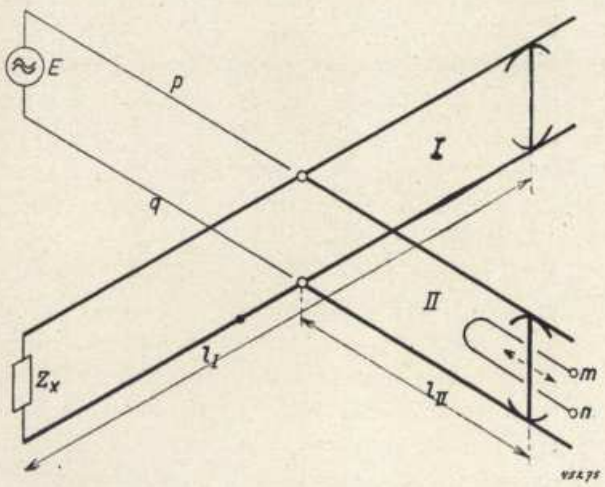


Fig. 8. Een impedantie Z_x, die klein is ten opzichte van de golfweerstand, kan worden gemeten met behulp van een Lechersysteem, waarvan de lengte l_I ongeveer een halve golflengte bedraagt. De koppeling met de meetzender *E* en de aansluiting van het hulp-Lechersysteem *II* geschieden hier in het midden van het Lechersysteem *I*.

Het spreekt vanzelf, dat de voorzorgen tegen het ontstaan van systematische meetfouten, die reeds bij metingen bij golflengten boven 1 meter werden genoemd, in nog grootere mate bij decimetergolven noodig zijn. Aan zeer korte verbindingen dient men zeer veel aandacht te besteden. Daar, waar een verbinding om technische redenen niet kort genoeg kan worden gemaakt, dient bij de interpretatie van de meetresultaten rekening te worden gehouden met het aanwezig zijn van deze verbinding. Door de zeer compacte montage, die bij decimetergolven noodzakelijk is, is het nl. vaak niet mogelijk een condensator ter compensatie van de zelfinductie eener verbinding aan te brengen.

[9]) Hiervoor zijn echter ook andere uitvoeringen mogelijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN TOESTEL VOOR STROBOSCOPISCHE WAARNEMING

door S. L. de BRUIN.

771.448.1:778.39

Ontlaadt men een condensator door een gasontladingslamp, dan verkrijgt men een lichtflits van korte duur en hooge intensiteit. Op deze wijze kan men een lichtbron maken, die geschikt is voor stroboscopische waarnemingen en voor het fotografeeren van snel bewegende voorwerpen.

In dit artikel wordt een door Philips ontwikkelde stroboscoop beschreven, bestaande uit een buisje met edelgasvulling als gasontladingslamp en een electrische apparatuur voor de condensator-ontladingen. Deze leveren periodiek herhaalde stroomstooten van 2000 A in tijdsafstanden, die tusschen 2 sec en 1/250 sec kunnen worden gevarieerd. De hierdoor opgewekte lichtflitsen hebben een sterkte van ongeveer 200 lumenseconden bij een maximale lichtstroom van $2 \cdot 10^6$ Dlm (duur 10^{-5} sec). De periode van de lichtflitsen kan op velerlei wijzen worden gesynchroniseerd met het te onderzoeken verschijnsel, waardoor tal van toepassingsmogelijkheden ontstaan, die aan de hand van enkele voorbeelden worden toegelicht.

Vergelijkt men de prestaties van een moderne optische apparatuur met die van het menschelijk oog, dan zal men vaststellen, dat de natuur in gevoeligheid nog steeds de techniek overtreft, maar dat de technische hulpmiddelen het voordeel bieden van een veel grootere snelheid en nauwkeurigheid. Het oog is niet in staat om verschijnselen te volgen, welke zich in minder dan $^1/_{10}$ seconde afspelen. Rotatiebewegingen van meer dan 3 of 4 omwentelingen per seconde onttrekken zich reeds aan een duidelijke waarneming, terwijl bij een translatiebeweging van meer dan 5 m/sec, bekeken uit 1 m afstand, het beeld reeds zoo wazig wordt, dat van een nauwkeurige waarneming geen sprake kan zijn.

Fotografische toestellen met spleetsluiters kunnen ongeveer 100 maal vlugger werken en daardoor verschijnselen vasthouden, die aan de rechtstreeksche waarneming ontgaan. De op deze wijze verkregen snelheid van ongeveer 0,001 seconde voldoet echter nog niet aan de eischen, welke bij vele technische onderzoekingen worden gesteld. Bij snelloopende machines zijn bijv. toerentallen tot 100 omw/sec en translatiesnelheden tot 100 m/sec geen uitzondering. Wenscht men nu in het laatste geval de momenteele situatie van een onderdeel eener machine op 1 mm nauwkeurig vast te houden, dan mag de waarneming niet langer dan 10^{-5} sec duren, en ook het tijdstip van de waarneming moet tot op 10^{-5} sec nauwkeurig zijn vastgelegd.

Een veel gebruikt hulpmiddel om aan deze eischen te voldoen is de stroboscoop. De werking van de stroboscoop berust hierop, dat hij de te onderzoeken voorwerpen slechts op die momenten zichtbaar of fotografeerbaar maakt, waarop de waarneming wordt gewenscht. In het veel voorkomende geval, dat deze momenten zich periodiek herhalen, bestaan hiervoor eenvoudige hulpmiddelen. Men kan bijv. in het vlak van de intreepupil van een kijker een roteerende schijf plaatsen met gaatjes, welke op regelmatige afstanden langs een cirkel zijn verdeeld. Draait deze schijf met het juiste toerental, dan zullen de opeenvolgende gaatjes met zoodanige tijdsafstanden op elkaar volgen, dat het roteerende of heen en weer loopende machinedeel inmiddels precies een periode heeft afgelegd en zich weer in zijn oude stand bevindt. Het bewegende voorwerp wordt dus als het ware stilgezet. In plaats daarvan kan men het zich ook langzaam laten verplaatsen, en wel naar wensch vooruit of achteruit, door de schijf iets langzamer of iets sneller te laten draaien.

Een andere methode om de zichtbaarheid van een object tot bepaalde, periodiek herhaalde, tijdstippen te beperken, bestaat in het gebruik van een lichtbron, die periodiek in lichtsterkte verandert. Bestraalt men met een dergelijke lichtbron een bewegend voorwerp, dan heeft men op bepaalde oogenblikken de sterkste gezichtsindruk, zoodat bij een juiste keuze van de frequentie en fase bepaalde standen van het bewegende voorwerp naar voren kunnen worden gebracht. Dit stroboscopische effect van een lichtbron treedt vaak onopzettelijk op, wanneer een machine, die door een synchrone motor wordt aangedreven, wordt verlicht met een lamp, welk uit hetzelfde net wordt gevoed als de synchroonmotor. Het sterkst is dit verschijnsel bij sommige gasontladingslampen, welke bij wisselstroombedrijf een sterk fluctueerende straling uitzenden. Bij de lichtboog bestaat eveneens een sterk stroboscopisch effect, terwijl dit bij gloeilampen vrijwel afwezig is.

Ook bij niet periodieke verschijnselen biedt het gebruik van een intermitteerende lichtbron verbeterde waarnemingsmogelijkheden. Een bekend proefje is de waarneming van een influentiemachine (Wimshurstmachine) in het licht van de overspringende vonk. De duur van de electrische over-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

slag is zoo kort, dat de schijven van de machine stil schijnen te staan. Opvallend is, dat de traagheid van het oog hierbij geen beletsel vormt; blijkbaar kan het oog binnen een willekeurig kort tijdsinterval een gezichtsindruk opvangen, mits de totale lichthoeveelheid voldoende groot is en het gezichtsapparaat na de lichtflits tijd genoeg heeft om de indruk te verwerken.

Het licht van een vonk is ook zeer geschikt om een bewegend voorwerp te fotografeeren. Op deze wijze is het gemakkelijk mogelijk de belichtingstijd tot 10^{-5} à 10^{-6} sec te reduceeren. Minder gemakkelijk is het om ook het moment, waarop de belichting plaats vindt, met deze nauwkeurigheid vast te leggen. Het hangt van de aard van het te onderzoeken verschijnsel af, op welke wijze men hierbij te werk zal gaan; mechanische, foto-electrische of acoustische hulpmiddelen kunnen worden toegepast.

In hetgeen volgt, zal een apparatuur worden beschreven, geschikt voor stroboscopisch onderzoek in laboratoria en fabrieken. Deze apparatuur, type GM 5500, is zoodanig ingericht, dat zoowel een enkele lichtflits als periodiek opeenvolgende lichtflitsen kunnen worden gegeven. De tijdsafstand tusschen de flitsen is binnen wijde grenzen in te stellen en de generator, die de lichtflitsen opwekt, kan met een waar te nemen machinedeel worden gesynchroniseerd. De lichtsterkte van de flitsen is zoo groot, dat men met het toestel bij de normale overdag in een kamer aanwezige helderheid kan werken zonder door het continue licht te worden gestoord.

De flitslamp

Als lichtflits gebruiken wij, zooals boven reeds werd gezegd, die van een electrische ontlading. Nu is het voor een permanente opstelling niet gewenscht om de vonk in lucht te doen overspringen, omdat de electroden dan te sterk worden aangetast. Het ligt voor de hand in plaats van lucht een edelgas te gebruiken. De vonkbrug wordt dus uitgevoerd als een ontladingslamp, welke met een edelgas is gevuld.

De beste resultaten werden verkregen met argon van hooge druk. Naarmate de druk hooger is, heeft de lichtflits van de overslag een hoogere intensiteit. Een grens wordt aan de druk gesteld door de eisch, dat de overslagspanning niet al te hoog mag worden en dat een redelijke levensduur van het lampje moet worden verkregen.

Het licht van de hooge druk argonlamp is blauwachtig wit en heeft een continu spectrum met een hooge fotografische actiniteit. Het vertoont dus eenige gelijkenis met dat van een watergekoelde kwiklamp, die eveneens als flitslamp zou kunnen worden gebruikt. Echter is de argonlamp door het ontbreken van waterkoeling gemakkelijker te hanteeren en bovendien bezit zij ten opzichte van de kwiklamp verschillende voordeelen: zij is te allen tijde bedrijfsklaar, terwijl de kwiklamp ter verkrijging van de benoodigde dampspanning eerst moet worden opgewarmd, en zij heeft een kortere flitstijd, daar de lichtuitstraling van de kwiklamp niet alleen een electrisch verschijnsel is, maar gedeeltelijk ook een thermisch verschijnsel, zoodat een zeker nalichten optreedt tengevolge van de warmtetraagheid van de kwikdamp.

Na een uitgebreid onderzoek naar de gunstigste combinatie van gasdruk, electrodenafstand en buisafmetingen is het gelukt een lamp met zeer goede technische eigenschappen te verkrijgen. De flitstijd bedraagt ongeveer 10^{-5} sec; binnen deze tijd wordt een lichthoeveelheid van 200 lumenseconden uitgestraald en een energie van 2 Wsec verbruikt, zoodat de specifieke lichtstroom 100 lm/W bedraagt. Dit is ongeveer hetzelfde rendement als onder gunstige omstandigheden met een door water gekoelde kwiklamp van zeer hooge druk kan worden verkregen.

De lichtstroom tijdens de flits is ongeveer $2 \cdot 10^6$ Dlm bij een stroomsterkte van 2000 A en een vermogen van 200 kW. Behalve deze zeer hooge piekbelastingen ontvangt de lamp nog een geringe continue belasting, teneinde de doorslag te vergemakkelijken. Het totale energieverbruik van de lamp is bijv. bij 25 flitsen per seconde ongeveer 75 W.

Het buisje van de lamp bestaat uit kwarts en is gemonteerd in een met stikstof gevulde ballon. De stikstofvulling is noodzakelijk, daar bij luchtvulling de heete kwartsbuis uitwendig zou worden aangetast door atomaire zuurstof, welke tengevolge van de ioniseerende werking van de ultraviolette straling van de lamp ontstaat.

De achterzijde van de ballon is aan de binnenzijde bedekt met een spiegelende laag en concentreert de lichtbundel in een betrekkelijk nauwe ruimtehoek, waardoor men in de as van de bundel een ongeveer 75-voudige versterking van de verlichting verkrijgt. Op 2 m afstand van de lamp is de piekwaarde van de verlichtingssterkte in de as ongeveer 10^7 lux, hetgeen voldoende is om zelfs met een sterk gediafragmeerde lens in de beschikbare tijd van 10^{-5} sec te kunnen fotografeeren. De verderop in dit artikel weergegeven opnamen zijn gemaakt met diafragma's F/16-F/22, zoodat het mogelijk was om met de camera dicht bij het object te komen en toch een groote diepteschерpte te verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

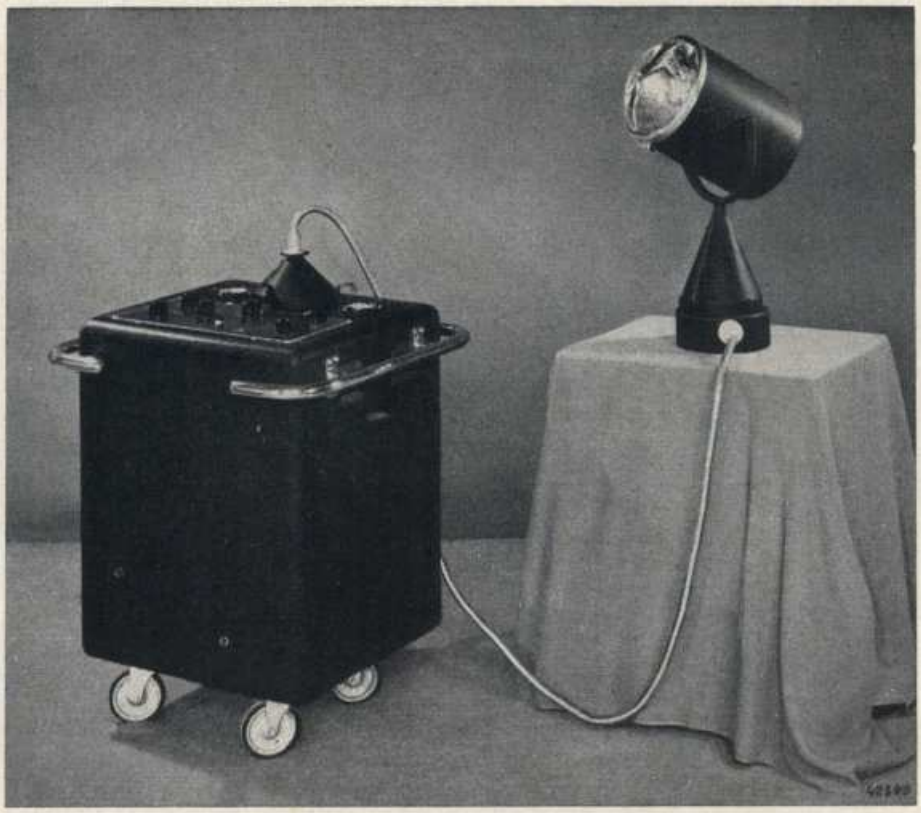


Fig. 1. De Philips-stroboscoop GM 5500.

In *fig. 1* is de stroboscoop afgebeeld. De lamp is gemonteerd in een draaibare houder, welke door een hoogspanningskabel is verbonden met een rijdbare kast, die de electrische apparatuur bevat. De lichtverdeeling van de stroboscooplamp is in *fig. 2* weergegeven.

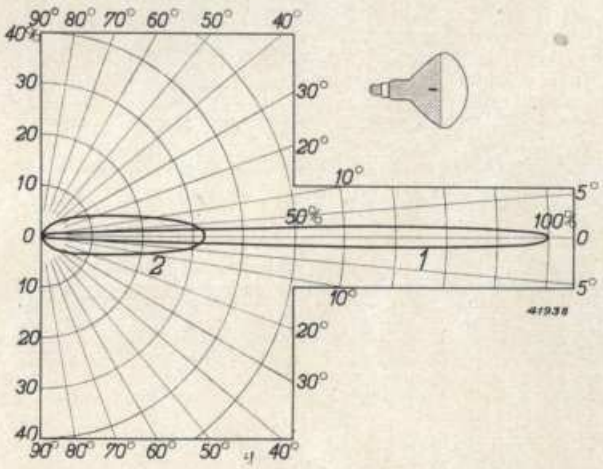


Fig. 2. Lichtsterkteverdeeling van de stroboscooplamp *1*) met heldere, *2*) met gematteerde ballon. De achterwand van de ballon is in beide gevallen met een spiegelende laag bedekt. De schaal van kromme *2* is 10 maal zoo groot als die van kromme *1*, zoodat dus de maximale lichtsterkte voor de heldere ballon ongeveer 30 maal zoo groot is als voor de gematteerde ballon.

De electrische apparatuur

Uit de beschrijving van de flitslamp is gebleken, dat de electrische apparatuur stroomstooten moet leveren met een sterkte van 2000 A en een duur van 10^{-5} sec. Afhankelijk van de toepassing kan het gewenscht zijn om enkelvoudige of periodiek herhaalde ontladingen te verkrijgen, terwijl het in elk geval van belang is om het oogenblik van de doorslag te kunnen synchroniseeren met het te onderzoeken verschijnsel.

Voor het voeden van de flitslamp gebruiken wij een schakeling met een relaisbuis, welke op de momenten, waarop de ontladingen gewenscht zijn, door een spanningsimpuls wordt ontstoken. De frequentie, waarmee deze door een aparte generator opgewekte impulsen zich herhalen, kan worden geregeld tusschen 0,5 per/sec (30 impulsen/min) en 250 per/sec (15 000 impulsen/min). Bovendien is het mogelijk om de impulsen te synchroniseeren met een van buiten af toegevoerde spanning. Tenslotte bevat de apparatuur een electrische frequentiemeter, welke gekoppeld is met de stuurgenerator.

Achtereenvolgens zullen wij nu de voornaamste onderdeelen van de apparatuur beschrijven.

De voedingsgenerator voor de flitslamp

De schakeling van de voedingsgenerator voor de flitslamp is weergegeven in *fig. 3*. Een condensator C_1 wordt via een laadweerstand R_1 geleidelijk geladen op 600 V om op bepaalde tijdstippen via de relaisbuis en de flitslamp A weer te kunnen wor-

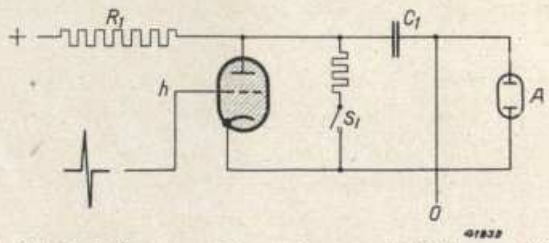


Fig. 3. Schakeling voor het voeden van de flitslamp A door middel van een condensator en een relaisbuis.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

den ontladen, waarbij de gewenschte stroomstooten worden verkregen.

De relaisbuis moet, zooals wij hebben besproken, eenige duizenden ampere kunnen schakelen, waarbij echter de gemiddelde stroomsterkte minder dan 1 ampere bedraagt. Rekening houdende met deze zeer abnormale bedrijfsomstandigheden werd een buis van speciale constructie ontworpen, die in *fig. 4* schematisch is weergegeven. De afmetingen van deze buis zijn in verband met de lage gemiddelde belasting betrekkelijk klein gekozen, zoodat de electroden bij elke doorslag sterk worden overbelast. Deze overbelasting heeft echter geen schadelijke gevolgen, daar beide electroden uit kwik bestaan. Slechts treedt tijdens de stroomstoot een sterke verdamping van het kwik op. De damp condenseert in de glazen dommen, welke boven de electroden zijn aangebracht, en het gecondenseerde kwik valt in druppels weer naar de electroden terug.

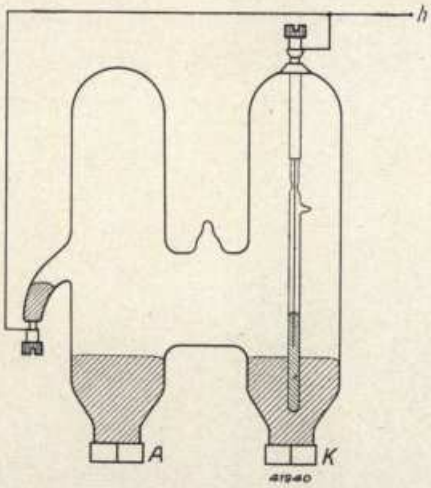


Fig. 4. Constructie van de relaisbuis voor het voeden van de flitslamp. De electroden van de buis zijn van kwik en kunnen kortstondige stroomstooten van 2000 A verdragen. Voor het ontsteken van de buis moet op de hulpelectrode *h* een spanning van eenige duizenden volt worden gezet.

Voor het ontsteken van de relaisbuis is aan de kathodezijde een hulpelectrode *h* aangebracht, welke bij het aanleggen van een spanningsimpuls (ongeveer 8 kV) een kathodevlek doet ontstaan en daardoor de ontlading inleidt. De condensator wordt dan via de relaisbuis en de flitslamp ontladen, waarna de relaisbuis dooft. Mocht de relaisbuis tengevolge van de via de laadweerstand R_1 toegevoerde stroom continu blijven branden, dan kan zij worden gedoofd door haar eventjes met behulp van de schakelaar S_1 practisch kort te sluiten.

Al naar gelang van de toepassing van de stroboscoop komen verschillende manieren in aanmer-

Fig. 5. Opstelling voor het fotografeeren van een botsing tusschen tennisbal en tennisracket met behulp van de stroboscoop. De belichting wordt gesynchroniseerd met behulp van een microfoon, die het geluid van de slag opvangt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

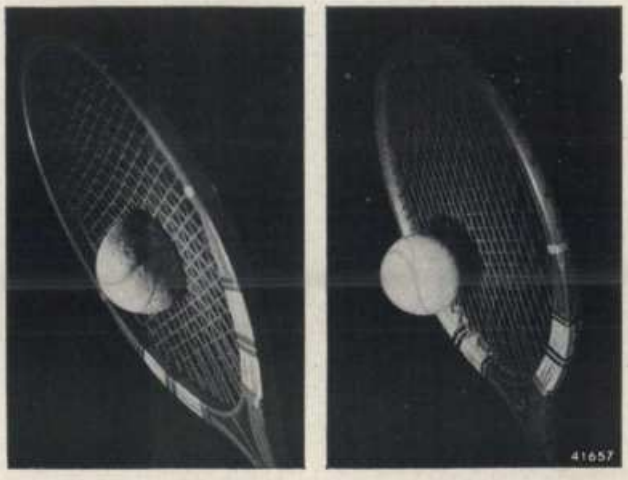
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

king, waarop men de spanningsimpulsen die voor het ontsteken van de relaisbuis moeten dienen, kan synchroniseeren, nl.:

a) met de wisselspanning van het voedingsnet,
b) met een van buiten af toe te voeren wisselspanning van ongeveer 50 V,
c) met een enkele spanningsstoot (bij niet-periodieke verschijnselen),
d) langs mechanische weg door een contact te verbreken,
e) langs mechanische weg door een contact te maken.

Voor het verkrijgen van de synchronisatiespanning bij niet-periodieke verschijnselen kan men gebruik maken van een microfoon of een fotocel. Daar deze apparaten slechts minimale spanningen of stroomen leveren, is het dan natuurlijk noodzakelijk om een geschikte versterker toe te passen.

Ter illustratie van deze werkwijze is in *fig. 5* een opstelling voor het opnemen van de botsing tusschen een tennisbal en een racket weergegeven, waarbij de synchronisatie is verkregen door middel van een microfoon, die op de tik van de botsing reageert. Naarmate de afstand tusschen racket en microfoon grooter is, zal tusschen de botsing en het moment van de opname een grooter tijdsverschil bestaan. Dit is te zien in *fig. 6*: de opname *a)* is gemaakt met een afstand van slechts enkele decimeters, terwijl bij de opname *b)* de afstand meer dan een meter bedroeg. In het eerste geval werd nog het moment van de aanraking vastgehouden, terwijl de bal in het laatste geval op het moment van de belichting reeds eenige centimeters is teruggekaatst.



a *b*

Fig. 6. Twee opnamen van de botsing tusschen tennisbal en tennisracket.
a) Afstand van de microfoon enkele decimeters;
b) afstand van de microfoon enkele meters.

De frequentiemeter

Om het aantal flitsen, dat per seconde door de stroboscoop wordt geleverd, nauwkeurig te kunnen controleeren, is het apparaat voorzien van een frequentiemeter. Deze meet de frequentie indirect, door de gemiddelde laadstroom aan te wijzen van een condensator, welke bij elke flits door een gastriode wordt ontladen om daarna weer tot een bepaalde spanning te worden geladen. *Fig. 7* geeft het principeschema weer.

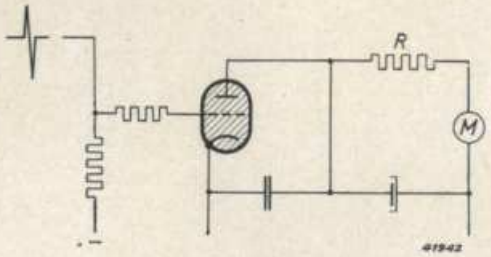


Fig. 7. Schakeling van de frequentiemeter. De gastriode is door een hooge negatieve spanning geblokkeerd en slaat slechts door, indien op de klemmen, die met de uitgang van de stuurgenerator zijn verbonden, een spanningsstoot komt. De meter *M* meet het aantal per seconde optredende ontladingen van de condensator.

De gastriode van de frequentiemeter wordt gestuurd door spanningsimpulsen, die afgenomen worden van dezelfde impulsspanning van 8 kV, waarmee ook de relaisbuis van de voedingsgenerator wordt gestuurd. Behalve deze impulsspanning staat op het rooster van de gastriode een zoo groote negatieve vóórspanning, dat bij afwezigheid van een impuls geen doorslag kan optreden. Daar de condensator bij elke doorslag vrijwel volledig wordt ontladen, is de gemiddelde sterkte van de stroom door de gastriode gelijk aan de lading van de condensator, vermenigvuldigd met de frequentie van de spanningsimpulsen. Deze stroom wordt aangewezen door een draaispoelinstrument, dat rechtstreeks in aantal flitsen per minuut is geijkt.

Toepassingen

De stroboscoop is bij observatie met het oog vooral geschikt voor snelle, dikwijls orienteerende, waarnemingen. Met behulp van de frequentiemeter kunnen hierbij de frequenties van trillingen of andere periodieke bewegingen worden bepaald. Interessante verschijnselen, die in een bepaalde fase van de onderzochte beweging optreden, kunnen fotografisch worden vastgelegd, terwijl de fotografie ook geschikt is om gegevens te verstrekken bij slechts éénmaal optredende gebeurtenissen.

Dikwijls is het mogelijk om de foto's direct kwantitatief te interpreteeren. Bij de hier te bespreken voorbeelden zullen wij echter hiervan afzien en de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

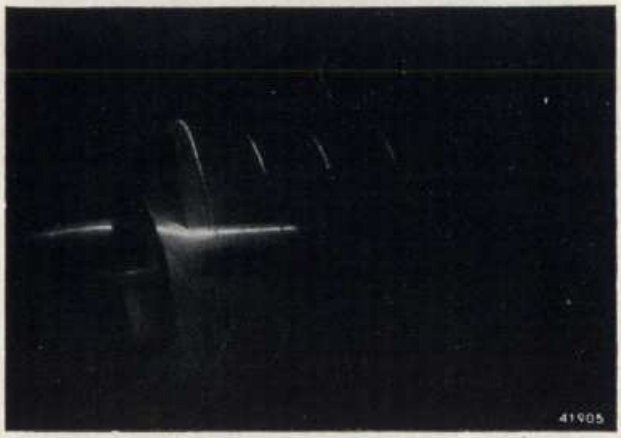
fotografische afbeeldingen slechts gebruiken ter karakteriseering van het waargenomen object.

Cavitatie van scheepsschroeven

Voor de scheepsbouw is het van belang om de afmetingen en vormgeving van de schroef aan te passen bij de snelheid en de statische druk van het omringende water, teneinde cavitatie te vermijden. Cavitatie is het verschijnsel, dat aan het oppervlak van de schroef plaatselijk en tijdelijk een zoo lage druk optreedt, dat damp- of gasbellen ontstaan. Deze kunnen aan het schroefbladoppervlak implodeeren, waardoor dit wordt onderworpen aan waterslagwerking, die ernstige erosieverschijnselen van het schroefmateriaal kan veroorzaken.

Teneinde het verschijnsel te bestudeeren en langs experimenteele weg de beste vorm van de schroef vast te stellen, worden schroefmodellen onderzocht in een stroomingskanaal, waarin men door regeling van de watersnelheid, de waterdruk en het aantal omwentelingen het cavitatieverschijnsel natuurgetrouw kan reproduceeren en de invloed daarvan op de voortstuwende kracht van de schroef kan bepalen. Deze „cavitatietank" is voorzien van glazen observatieruiten, waardoor men in de gelegenheid is het schroefmodel stroboscopisch te verlichten en het cavitatieverschijnsel rechtstreeks waar te nemen of te fotografeeren. *Fig. 8a* toont

a



b

Fig. 8. Scheepsschroef in cavitatietank. *a*) Sterke cavitatie, *b*) geen cavitatie. De heldere lijn in *b*) duidt de topwervel van de schroef aan. De opnamen zijn gemaakt in het Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen.

Fig. 9. Momentopname tijdens de waarneming van een frais met behulp van de stroboscoop.

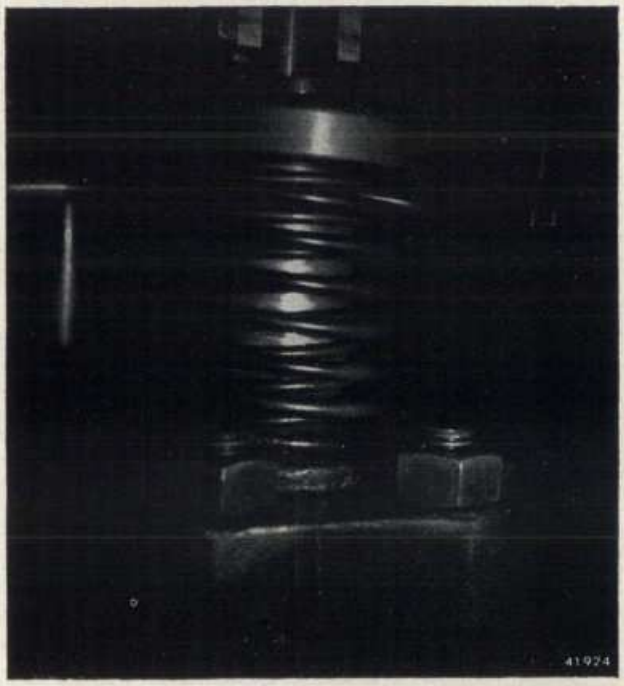


Fig. 10. Opname tijdens de waarneming van de klepveeren van een Dieselmotor met behulp van de stroboscoop.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 11a.

Fig. 11. Opnamen van waterstralen met lichtflitsen van de stroboscooplamp. *a*) Straal van een kraan. *b*) Straal van een douche.

Fig. 12. Deze opname werd ter vergelijking met fig. 11*a* gemaakt met behulp van een bliksemlichtlamp. De flitstijd van de bliksemlichtlamp blijkt reeds veel te groot te zijn voor een scherpe opname van het schuim.

Fig. 11b.

Fig. 12.

een scheepsschroef met sterke cavitatie, terwijl in fig. 8*b* een schroef zonder cavitatie is weergegeven. De heldere schroeflijn, die men in het laatste geval ziet, is de topwervel van de schroef.

Het snijden van de tanden van een frais

Bij het keuren van een frais is het van belang om te weten, of alle tanden gelijkmatig meewerken aan het snijproces. Hiervan kan men zich vlug overtuigen door de werkende frais met behulp van een stroboscooplamp waar te nemen. *Fig. 9* geeft een foto, die gedurende een dergelijk onderzoek is gemaakt. Uit den aard der zaak is deze ééne opname, die slechts één van de tanden in werking laat zien, niet voldoende om de gewenschte conclusies te trekken.

Onderzoek van verbrandingsmotoren

Bij snel loopende machines kan de stroboscoop nuttig zijn ter contrôle van bepaalde onderdeelen. Als voorbeeld geven wij in *fig. 10* een foto van de klepveeren van een Dieselmotor. De stroboscopische waarneming van de klepveeren is van belang, omdat de fase van het open en dicht gaan der kleppen tengevolge van traagheidsverschijnselen bij hooge toerentallen kan afwijken van de bij stilstaande motor ingestelde fase.

Waarneming van vloeistofstralen

Bij sommige toepassingen van de stroboscoop is een synchronisatie van de lichtflits niet noodig en trekt men vooral profijt van de korte belichtingstijd. Een voorbeeld hiervan vormt het onderzoek van waterstralen, dat in *fig. 11a* en *b* wordt geïllustreerd door de vergelijking van de stralen van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 13. Koeling van een centerlooze slijpmachine. De smeringsvloeistof wordt door de wind van de roteerende slijpsteen opzij geblazen, zoodat zij haar werking niet kan verrichten.

een kraan en van een douche. Duidelijk ziet men, hoe het schuimende water uit de kraan geheel bestaat uit bellen, welke op de ter vergelijking in *fig. 12* weergegeven opname met behulp van een bliksemlichtlamp niet zijn te onderscheiden.

Een practische toepassing vindt het onderzoek van vloeistofstralen bij de smering van machines voor de metaalbewerking. Als voorbeeld geven wij in *fig. 13* de smering van een centerlooze slijpmachine weer. Men ziet, dat de smeringsvloeistof door de wind van de slijpsteen opzij wordt geblazen en dus niet terecht komt op de slijpsteen, zooals toch de bedoeling is. Deze waarneming gaf aanleiding tot een wijziging van de constructie.

Andere toepassingen

Naast deze voorbeelden bestaan natuurlijk nog tal van andere toepassingsmogelijkheden voor de stroboscoop. Een omvangrijk gebied vormen bijv. de snel loopende machines van de textielindustrie, zooals spinmachines, weefstoelen, naaimachines enz. Een minder voor de hand liggend toepassingsgebied is dat van de materiaalkeuring, waarbij men profijt kan trekken van de mogelijkheid om met behulp van de stroboscooplamp het zeer snel verloopende proces van het breken van een werkstuk nauwkeurig op het gewenschte moment te kunnen fotografeeren.

Teneinde deze mogelijkheid te illustreeren, toonen wij als voorbeeld in *fig. 14* een gloeilamp, die wordt gebroken door een hamerslag. De synchronisatie geschiedde in dit geval langs mechanische weg met behulp van een draad, welke de synchronisatie-impuls geeft op het moment, dat hij door de neergaande hamer wordt stukgetrokken.

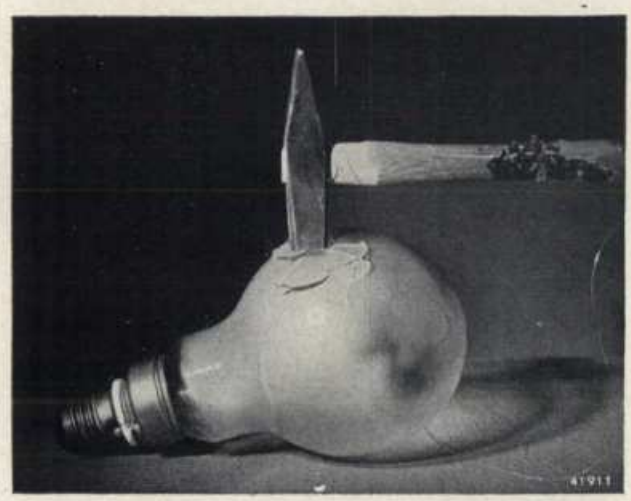


Fig. 14. Verbrijzeling van een gloeilamp door een hamerslag. De synchronisatie van de opname geschiedt door stuktrekken van de draad, welke is vastgebonden aan de steel van de hamer.

Inhoud van *Philips Research Reports* **1**, No. 1, October 1945 :

D. Polder: Theory of the elastic after-effect and the diffusion of carbon in alpha-iron.
J. L. H. Jonker en B. D. H. Tellegen: The current to a positive grid in electron tubes I. The current resulting from electrons flowing directly from the cathode to the grid.
J. L. H. Jonker: The current to a positive grid in electron tubes II. The current resulting from returning electrons.
E. J. W. Verwey: Theory of the stability of lyophobic colloids.
K. F. Niessen: The ratio between the horizontal and the vertical electric field of a vertical antenna of infinitesimal length.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!